

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

EXTRAKCIA LÍNIE STOKU VODY Z ROZPTÝLENÝCH DÁT

Diplomová práca

Autor:

Bc. Jakub Chovan

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Kateřina Růžičková, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Chovan**
Studijní program: N3654 Geodézie, kartografie a geoinformatika
Studijní obor: 3608T002 Geoinformatika
Téma: **Extrakce línie stoku vody z rozptýlených dat**
Extraction of Stream Line from Diffuse Data

Zásady pro vypracování:

- 1) Seznámit se s problematikou rozptýlených dat, které vznikly aplikací metody Monte-Carlo na analýzu stoku vody po terénu.
- 2) Vytipovat analytické úlohy, které by mohly vést k extrakci línie stoku vody z rozptýlených dat.
- 3) Navrhnout a otestovat postup (či postupy) extrakce línie stoku vody.
- 4) Zhodnotit navržený postup (či postupy) a možnosti extrakce línie stoku vody z rozptýlených dat.

Rozsah původní zprávy: 30 - 50 stran textu.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) SMITH, M.; LONGLEY, P.; GOODCHILD, M. Geospatial Analysis - A comprehensive guide. Troubador Publishing Ltd, 2007. 516 s. ISBN 1906221529.
- 2) SMOLOVÁ I.; VÍTEK J. Základy geomorfologie: vybrané tvary reliéfu. UP Olomouc, 2007. 189 s. ISBN 978-80-244-1749-3.
- 3) RUBINSTEIN R. Y.; KROESE D. P. The cross-entropy method: a unified approach to combinatorial optimization, Monte-Carlo simulation, and machine learning. Springer, New York 2004. 300 s. ISBN 0-387-21240-X.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kateřina Růžicková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013

prof. Ing. Zdeněk Diviš, CSc.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

PREHLASUJEM, ŽE

- Celú diplomovú prácu vrátane príloh, som vypracoval samostatne a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.
- Bol som oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, hlavne § 35 – využitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitie diela školského a § 60 – školské dielo.
- Beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nezárobkovo, pre svoju vnútornú potrebu, diplomovú prácu použiť (§ 35 odst. 3).
- Súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrední knihovne VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci, obsiahnuté v Zázname o záverečnej práci, umiestenom v prílohe mojej diplomovej práce, budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- Bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z ich strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bolo zjednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).

V Ostrave dňa 7.3. 2013

.....
Jakub Chovan

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa chcel poďakovať najmä vedúcej práce Ing. Kateřine Růžičkovej, Ph.D. za poskytnuté konzultácie a za pomoc pri riešení problémov pri vypracovaní mojej diplomovej práce. Poďakovanie patrí taktiež mojim rodičom, rodine a kamarátom za potrebnú podporu pri vypracovaní diplomovej práce.

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá extrakciou línie, ktorá predstavuje stok vody po povrchu. Línia sa extrahuje z rozptýlených dát, ktoré vzniknú aplikáciou metódy Monte Carlo na proces výpočtu akumulácie stoku vody po povrchu.

Na úvod sa práca zaoberá vysvetlením problému neurčitost'. V ďalších častiach sa práca venuje problematike generovania rozptýlených dát a objasneniu metódy Monte Carlo. Ďalej sa práca zaoberá samotnou extrakciou línie stoku vody. Popisuje testované metódy, funkcie a ich použiteľnosť. Obsahuje taktiež návrh a popis jednotlivých vytvorených postupov, ktoré vedú k extrakcii línie stoku vody z rozptýlených dát. Na záver práca obsahuje porovnanie vytvorených postupov a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov.

Kľúčové slová: neurčitost', Monte Carlo, extrakcia, stok vody

Abstract

Diploma thesis deals with extraction of a line, which represents stream line on the surface. Line is extracted from diffuse data, which are created by applying Monte Carlo method on process of computing the flow accumulation.

At the beginning, work deals with explanation of uncertainty. Next parts of work consist of issues with generating diffuse data and explanation of Monte Carlo method. After that work deals with extraction of stream line itself. It describes tested methods, functions and their usability. It also consists of design and description of created procedures which lead to extraction of stream line from diffuse data. The end of the work consists of comparison of created procedures and evaluation of achieved results.

Keywords: uncertainty, Monte Carlo, extraction, stream line

OBSAH

ZOZNAM SKRATIEK	8
ÚVOD.....	9
1 CIELE DIPLOMOVEJ PRÁCE	10
2 POUŽITÝ SOFTWARE A DÁTA	11
2.1 Použitý software.....	11
2.2 Použité dáta.....	12
3 PROBLEMATIKA ROZPTÝLENÝCH DÁT	16
3.1 Neurčitost'.....	16
3.1.1 Neurčitost' v GIS	18
3.1.2 Šírenie neurčitosti.....	21
3.1.3 Metóda Monte Carlo	23
3.2 Implementácia metódy Monte Carlo v ArcGIS pre stanovenie odtoku vody	25
3.2.1 Princíp analýzy stoku vody	26
3.2.2 Nástroj pre generovanie rozptýlených dát.....	32
3.2.3 Analýza rozptýlených dát.....	35
4 EXTRAKCIA LÍNIE STOKU VODY Z ROZPTÝLENÝCH DÁT	42
4.1 Voľba dát pre extrakciu	42
4.2 Analýza a testovanie použiteľnosti funkcií.....	43
4.2.1 Kritériá pre výber funkcií.....	43
4.2.2 Testované funkcie	44
4.3 Navrhnuté postupy	50
4.3.1 Postup č. 1	51
4.3.2 Postup č. 2	54
4.3.3 Postup č. 3	55
4.3.4 Postup č. 4	57
4.3.5 Postup č. 5	61
4.3.6 Zhrnutie	65
4.4 Testovanie navrhnutých postupov.....	66
5 ZHODNOTENIE KVALITY ZÍSKANÝCH VÝSLEDKOV	83
ZÁVER	92
POUŽITÁ LITERATÚRA.....	94
ZOZNAM OBRÁZKOV	97

ZOZNAM TABULIEK	101
ZOZNAM PRÍLOH.....	101

ZOZNAM SKRATIEK

DIBAVOD - digitálna báza vodohospodárskych dát
DMR - digitálny model reliéfu
DMÚ - digitálny model územia
DPZ - diaľkový prieskum Zeme
ESRI - Economic and social research institute
GIS - geografický informačný systém
GNSS - Global Navigation Satellite System
GPS - Global Positioning System
GRASS - Geographical Resources Analysis Support System
CHKO - chránená krajinná oblasť
IDE - integrated development environment
LIDAR - Light Detection and Ranging
RMS - root mean square
VTIS - vojenský topografický informačný systém
ZABAGED - základná báza geografických dát

ÚVOD

Jednou zo základných úloh pri štúdiu nášho okolia a povrchu Zeme je určenie odvodňovacích sietí, odvodňovacích kanálov a taktiež povodí. Pod pojmom odvodňovacia sieť rozumieme sieť línií, ktoré predstavujú proces toku vody po povrchu pôsobením gravitačných síl z vyšších polôh do nižších. Topológia a geometria takýchto sietí je dôležitou súčasťou štúdia geomorfológie. Na základe odvodňovacích sietí je možné určiť taktiež povodia, ktoré sú často využívané napr. v hydrologických modeloch.

Jedným z hlavných faktorov potrebných pre určenie takýchto odvodňovacích sietí a jednotlivých línií toku vody po povrchu je digitálny model reliéfu. Pod týmto pojmom rozumieme digitálnu reprezentáciu povrchu Zeme. Pre jej vytvorenie slúžia údaje o nadmorskej výške. Pre správne vyhodnotenie odvodňovacích sietí je dôležitá najmä presnosť digitálneho modelu terénu, ktorú najviac ovplyvňuje metóda získavania vstupných dát, hustota a rozmiestnenie bodov, ktoré obsahujú údaj o nadmorskej výške. Okrem týchto faktorov vplýva na presnosť aj zvolená interpolačná metóda. Hlavnými spôsobmi, ako získať vstupné dáta pre tvorbu digitálneho modelu terénu sú metódy využívajúce DPZ, fotogrammetriu, LIDAR, geodetické merania, globálne navigačné a polohovacie systémy (GNSS). Pomocou týchto metód je možné získať výškové dáta s rôznymi presnosťami.

Pri získavaní údajov o nadmorských výškach však môže dochádzať k chybám, ktoré môžu ovplyvniť výslednú odmeranú hodnotu v danom bode. Digitálny model terénu vytvorený z takýchto dát teda neodpovedá presne skutočnosti, pretože obsahuje už spomínané chyby. Tieto chyby, ktoré vznikajú pri získavaní dát, môžu mať systematický alebo náhodný charakter. Rozdiel spočíva v tom, že systematickú chybu je možné, na rozdiel od náhodnej chyby, úplne odstrániť. Náhodné chyby je možné odhadnúť a v prípade potreby taktiež zohľadniť. Ak chceme tieto chyby zohľadniť pri vytváraní odvodňovacích sietí a línií stoku vody, je potrebné ich najprv vyčíslieť. Po vyčíslení chýb je potrebné ich aplikovať k získanému digitálnemu modelu terénu. Tým, že berieme do úvahy chyby, ktoré mohli vzniknúť pri získavaní dát, spracovávame neurčitost'. Tým, že budeme opakovať proces generovania náhodných chýb, ich aplikácie na digitálny model reliéfu a následnej analýzy stoku vody, získame sadu dát o odvodňovacích sieťach. Každá vygenerovaná sada sa líši od predchádzajúcej práve vďaka aplikovaniu náhodných chýb na DMR. Zlúčením všetkých vytvorených sád získame dáta, ktoré nazývame rozptýlené. Rozptýlené dáta pozostávajú z veľkého množstva línií predstavujúcich jednotlivé línie stoku vody. Pre ďalšie využitie je však vhodné z takýchto dát získať najpravdepodobnejšie línie stoku vody po povrchu, teda odvodňovaciu sieť, pri ktorej bola spracovaná neurčitost'. Táto práca sa zaoberá práve touto problematikou a jej účelom je nájsť spôsoby, ako tieto spomínané najpravdepodobnejšie línie stoku vody získať.

1 CIELE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Diplomová práca má niekoľko cieľov. Za hlavný cieľ je možné považovať, ako vyplýva aj z témy diplomovej práce, extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát. Rozptýlené dáta predstavujú dáta, ktoré vznikli opakovaním procesu vyhodnotenia stoku vody nad dátami, pri ktorých sa brala do úvahy neurčitosť. Neurčitosť môže spôsobovať rôzne nepresnosti vo vstupných dátach, ktoré môžu predstavovať chyby vznikajúce v procese ich získavania. Neurčitosť sa pri použití takýchto vstupných dát ďalej šíri a spôsobuje neurčitosti aj vo výsledkoch spracovania. Spracovaním neurčitosti vznikajú vo vstupných dátach rozptýlené hodnoty. Použitie takýchto dát pre vyhodnotenie stoku vody spôsobuje rozptyl vo výslednom priebehu stoku po teréne. Hlavným cieľom diplomovej práce je teda z takýchto dát získať jednu najpravdepodobnejšiu líniu.

K tomu aby mohol byť dosiahnutý hlavný cieľ je nutné dosiahnuť niekoľko ďalších cieľov. Prvým z týchto cieľov je zoznámenie sa s problematikou rozptýlených dát. To zahŕňa oboznámenie sa s problematikou neurčitosti a s metódou Monte Carlo, ktorá predstavuje jednu z metód, ktoré umožňujú šírenie neurčitosti. K tomuto cieľu je možné zaradiť aj samotné generovanie rozptýlených dát, ktoré prebieha aplikáciou metódy Monte Carlo na analýzu stoku vody po teréne.

Ďalším cieľom, ktorý je potrebné dosiahnuť kvôli priblíženiu sa k hlavnému cieľu, je vytipovanie rôznych analytických úloh, funkcií a metód, ktoré by mohli úplne alebo čiastočne viesť k extrakcii línie stoku vody z rozptýlených dát.

Ďalší krok predstavuje vytvorenie rôznych postupov, v ktorých sa budú využívať vytipované úlohy, funkcie, metódy a ich kombinácie v rôznych logických postupnostiach vedúcich k dosiahnutiu hlavného cieľa, teda extrakcii línie stoku vody z rozptýlených dát.

Posledným cieľom je zhodnotenie navrhnutých postupov, porovnanie výstupov jednotlivých postupov a zhodnotenie použiteľnosti postupov pre rôzne typy dát.

2 POUŽITÝ SOFTWARE A DÁTA

2.1 Použitý software

ArcGIS

ArcGIS je platforma firmy ESRI, výrobcu software pre GIS, ktorá predstavuje riešenia geografických informačných systémov rozšírené a podporované na celom svete. ArcGIS je tvorený sadou produktov, s pomocou ktorých je možné vystavať si GIS podľa vlastných potrieb. ArcGIS Desktop je profesionálny nástroj, ktorý v sebe spája tri úrovne (licencie), ktoré sa líšia rôznou funkcionalitou: ArcView, ArcEditor a ArcInfo.

ArcView - poskytuje rozsiahle nástroje pre tvorbu máp a získavanie informácií z máp a jednoduché nástroje pre editáciu a priestorové operácie.

ArcEditor - má plnú funkcionalitu ArcView a navyše rozšírené editačné možnosti pre geodatabáze a shapefile.

ArcInfo - obohacuje funkcionalitu oboch predchádzajúcich produktov o rozšírené priestorové operácie.

Tento software bol počas riešenia diplomovej práce využitý k viacerým účelom. V prvom rade slúžil spolu s využitím knižnice ArcPy a jazyku Python pre vytvorenie skriptu a následne ArcGIS toolboxu slúžiaceho na generovanie rozptýlených dát potrebných pre ďalšie časti riešenia diplomovej práce. Taktiež bol jedným z nástrojov, z ktorých sa vytypovali metódy a funkcie pre vytvorenie postupov na extrakciu línie z rozptýlených dát. ArcGIS bol tiež využitý pre vizualizáciu dát a výstupov jednotlivých navrhnutých postupov. Pri riešení práce bola využitá verzia ArcGIS 10.

GRASS GIS

GRASS GIS (*Geographic Resources Analysis Support System*) je voľne šíriteľný geografický informačný systém pre správu dát, spracovanie obrazov, priestorové modelovanie a vizualizáciu rôznych typov dát [27]. Je šírený pod licenciou GNU General Public License (GPL) a je dostupný na viacerých platformách zahŕňajúc Microsoft Windows, Mac OS X a Linux. GRASS je oficiálnym projektom Open Source Geospatial Foundation.

Systém GRASS bol na začiatku vyvíjaný pre vojenské účely americkou armádou, ktorá neskôr celý softwarový balík aj so zdrojovým kódom poskytla verejnosti. Dnes je GRASS využívaný ako v akademickej tak aj v komerčnej sfére [27].

GRASS GIS bol pri riešení diplomovej práce podobne ako ArcGIS využitý ako software, ktorého nástroje boli analyzované pre možné využitie a vytvorenie postupov pre extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát.

PyScripter

PyScripter predstavuje open-source IDE (integrated development environment) pre jazyk Python. V súčasnosti je dostupný len pre Microsoft Windows [39].

PyScripter bol v práci využitý pre vytvorenie skriptu v jazyku Python, ktorý zabezpečuje generovanie rozptýlených dát potrebných pre riešenie práce.

2.2 Použité dáta

K dosiahnutiu hlavného cieľa diplomovej práce, teda k extrakcií línie stoku vody z rozptýlených dát, je potrebné tieto dáta najprv nejakým spôsobom získať. Jednotlivé línie stoku vody ako aj ďalšie dáta, s ktorými sa v priebehu riešenia práce stretneme, sú výsledkami použitia rôznych funkcií a postupov. Tieto dáta by však nebolo možné získať bez digitálneho modelu reliéfu. Ten predstavuje digitálnu reprezentáciu povrchu a tvorí základnú vstupnú vrstvu pre získanie ďalších potrebných dát ako napr. akumulácia stoku vody, smer stoku vody apod. V práci boli použité digitálne modely reliéfu pochádzajúce z dvoch zdrojov. Lokalizácia záujmových území pre oba DMR je zobrazená v mape 1.

DMÚ 25

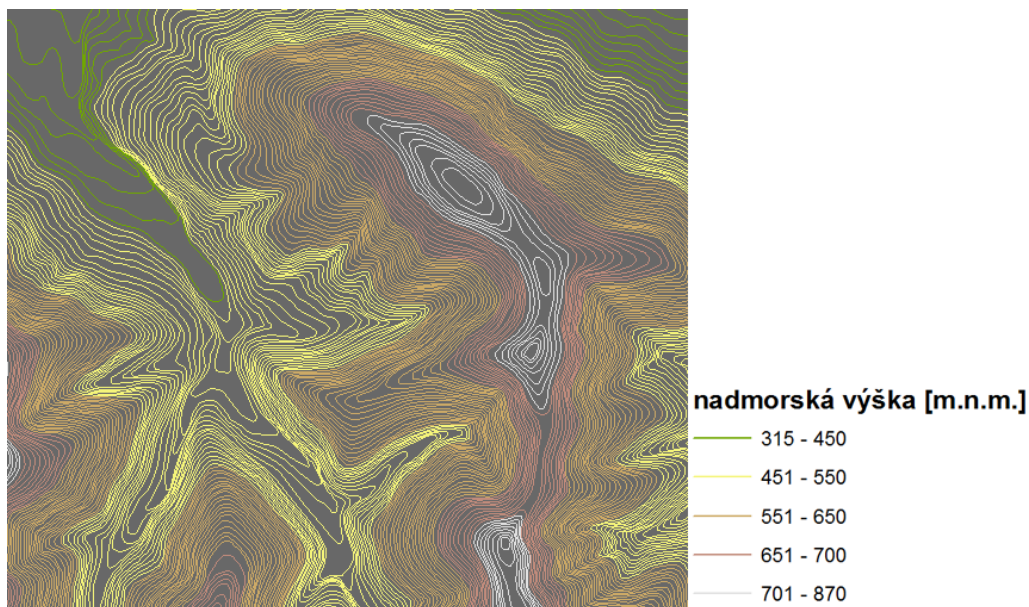
Prvým použitým digitálnym modelom reliéfu je DMR vytvorené z vrstevníc pochádzajúcich z DMÚ 25. Ten predstavuje digitálny model územia v mierke 1:25 000. Ide o vektorovú databázu pozostávajúcu zo siedmich logických vrstiev:

- vodstvo,
- komunikácie,
- potrubné, energetické a telekomunikačné trasy,
- rastlinný a pôdny kryt,
- sídla, priemyslové a iné topografické objekty,
- hranice a ohrady,
- terénny reliéf [14].

Táto vektorová databáza je poskytovaná Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úradom v Dobruške a tvorí jednu zo základných častí Vojenského topografického informačného systému (VTIS). Aj napriek tomu, že ide o databázu poskytovanú vojenskou organizáciou a určenú primárne pre potreby Ministerstva obrany AČR, je možné ju využívať aj komerčnými a civilnými organizáciami. Dôvodom je, že obsahuje prevažne všeobecné informácie, ktoré nevyžadujú utajenie [11] [14].

Tvorba DMÚ 25 bola dokončená v roku 2000. Samotná tvorba prebiehala vo forme digitalizácie prvkov topografickej mapy v mierke 1:25 000. Dáta, ktoré sú obsiahnuté v databáze, boli vytvorené v súradnicovom systéme S-42 a následne taktiež transformované do S-JTSK a WGS 84 [14].

Pre potreby diplomovej práce mi bol poskytnutý terénny reliéf v podobe vektorových vrstevníc v intervale 5 m (Obrázok 1). Bolo potrebné zvoliť oblasť, ktorá obsahuje hornaté aj rovinaté oblasti. Hlavným dôvodom pre toto rozhodnutie bol predpoklad, že rozptyl línií stoku vody bude v hornatých oblastiach menší ako v oblastiach rovinatých. Bolo teda potrebné otestovať extrakciu línie stoku vody pre oba typy oblastí.



Obrázok 1: Ukážka vrstevníc z DMÚ 25

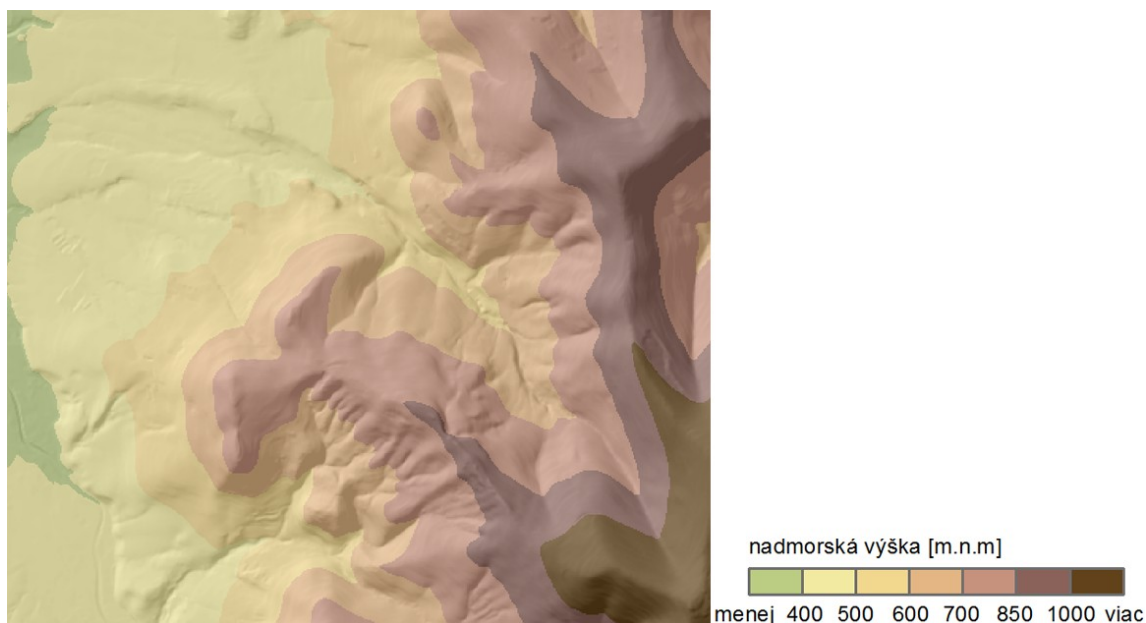
Za testovanú oblasť bola zvolená oblasť s obvodom 21 km nachádzajúca sa v okrese Frýdek-Místek v Moravskoslezskom kraji. Vo zvolenej oblasti sa nachádzajú obce Řeka, Smilovice a Komorní Lhotka. V blízkosti zvolenej oblasti sa nachádzajú mestá Třinec, Frýdek-Místek alebo Jablunkov. V blízkosti sa taktiež nachádza vrch Javorový s výškou 1032 m. Takmer celá testovaná oblasť spadá do CHKO Beskydy a pretekajú cez ňu vodné toky Ropičanka a Ráztoka. Ako je možné vidieť z mapy (mapa 4), väčšina oblasti je hornatá. Terén sa však smerom k obciam Smilovice a Komorní Lhotka vyrovnáva, čo vyhovuje predpokladom na oblasť pre spracovanie diplomovej práce.

Projekt Floreon+

Druhým použitým digitálnym modelom reliéfu je DMR z projektu Floreon+. Tento projekt má za účel vytvoriť platformu pre monitorovanie, modelovanie, predikciu a podporu riešenia krízových situácií. Projekt sa zameriava predovšetkým na Moravskoslezský kraj. Hlavnou témou projektu je hydrológia. Okrem hydrológie sa projekt zaoberá taktiež problematikou krízového riadenia [25]. DMR z projektu Floreon+ mi bol poskytnutý v podobe rastrovej vrstvy (Obrázok 2).

Podobne ako pri dátach z DMÚ 25 bolo potrebné zvoliť oblasť, kde sa nachádzajú hornaté aj rovinaté oblasti. V tomto prípade ide o oblasť s obvodom približne 35 km nachádzajúcu sa opäť v okrese Frýdek-Místek v Moravskoslezskom kraji. Zvolená oblasť však nie je totožná s oblasťou zvolenou pre reliéf z DMÚ 25. Dôvodom pre výber dvoch rozdielnych testovacích oblastí je potreba otestovať navrhnuté postupy pre extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát nie len pre rôzne DMR ale aj pre oblasti s iným terénom. Vo zvolenej oblasti sa nachádzajú obce Ostravice, Malenovice a mesto Frýdlant nad Ostravicí. Nachádza sa tu taktiež Lysá hora s výškou 1323 m a ďalšie vrcholy ako Kyčera, Kykulka alebo Čupel. Cez oblasť preteká rieka Ostravice a v blízkosti sa nachádza vodná nádrž

Šance. Z mapy (mapa 5) je možné vidieť, že približne polovicu zvolenej oblasti tvorí hornatý terén v okolí Lysej hory. Smerom na západ až severozápad sa terén postupne mení na rovinatý.



Obrázok 2: Ukážka DMR z projektu Floreon+

Tabuľka 1: Základné údaje o použitých DMR

digitálny model reliéfu	DMÚ 25	Floreon+
veľkosť bunky	50 m	10 m
minimálna nadmorská výška	349 m.n.m.	345 m.n.m.
priemerná nadmorská výška	534 m.n.m.	632 m.n.m.
maximálna nadmorská výška	793 m.n.m.	1323 m.n.m.
minimálny sklon	0.08°	0.00°
priemerný sklon	12.22°	15.02°
maximálny sklon	28.91°	52.29°

Sklony svahov, ktorých minimálne, priemerné a maximálne hodnoty sú uvedené v tabuľke 1 je možné taktiež vidieť v mape 3, ktorá zobrazuje sklonitosť terénu v záujmových oblastiach.

DIBAVOD

Digitálna báza vodohospodárskych dát predstavuje pracovné označenie návrhu katalógu typov objektov ako tematickej vodohospodárskej nadstavby ZABAGED. Je to referenčná geografická databáza vytvorená primárne z odpovedajúcich vrstiev ZABAGED a cieľovo určená pre tvorbu tematických kartografických výstupov. Niektoré z vrstiev sú voľne dostupné na stiahnutie vo forme ESRI shapefile [38].

Dáta z DIBAVOD boli v práci využité pre kontrolu kvality výsledkov jednotlivých navrhnutých postupov pre extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát. Konkrétne sa jedná o vrstvu vodné toky (jemné úseky). V katalógu objektov DIBAVOD je možné túto vrstvu nájsť v kategórii A – základné javy povrchových a podzemných vôd. Vrstva má názov A02 – vodný tok (jemné úseky). Objekt je definovaný v katalógovom liste ako úsekový model riečnej siete, vektorovo orientovaný po smere prúdenia a definovaný počiatočným a koncovým bodom. Ide o líniový geoprvek vytvorený v mierke 1:10 000 [35].

3 PROBLEMATIKA ROZPTÝLENÝCH DÁT

3.1 Neurčitost'

Pojem neurčitost' vyjadruje určitú pochybnosť o správnosti výsledku, presnosti dát alebo o presnosti vzťahov, ktoré slúžia k odvodzovaniu ďalších dát. V súčasnosti je bežné považovať aj tie najkvalitnejšie prístroje pre získavanie rôznych dát (hodiny, teplomer, GPS, ...) za presné a ich výsledky za dôveryhodné. Tento prístup však nie je správny pretože pre akékoľvek meranie existuje určitá pochybnosť. Hovoríme teda o neurčitosti. Neurčitost' v bežnom živote si môžeme predstaviť napríklad ako tvrdenie, že nejaký človek má 2 metre + - 5 centimetrov. Neurčitost' vyjadruje stupeň, s akým si môžeme byť istí správnosťou výsledku. Inak povedané vyjadruje stupeň dôvery k výsledku [1] [2].

Jedným z najznámejších vyjadrení neurčitosti je Heisenbergov princíp neurčitosti, ktorý odvodil v roku 1927 Werner Heisenberg. Tento princíp predstavuje matematickú vlastnosť dvoch kanonicky konjugovaných veličín, z ktorých najznámejšie sú poloha a hybnosť elementárnej častice. Heisenbergov princíp neurčitosti tvrdí, že čím presnejšie zmeriame jednu z týchto vlastností, tým menej presne zmeriame druhú. Inak povedané nemôžeme zmerať obe veličiny v tom istom čase s úplnou presnosťou. Z tohto princípu vyplýva, že v mikrosвете môžeme niektoré javy predvídať iba s určitou pravdepodobnosťou, ale nie s istotou. [10]

Ako už bolo spomenuté, každé meranie obsahuje neurčitost'. Tá je spôsobená náhodnými alebo systematickými chybami.

- náhodné chyby – opakovanie merania poskytuje náhodne rozdielne výsledky
- systematické chyby – opakovanie merania neposkytuje náhodne rozdielne výsledky, na meranie má vplyv ten istý efekt pri každom opakovaní

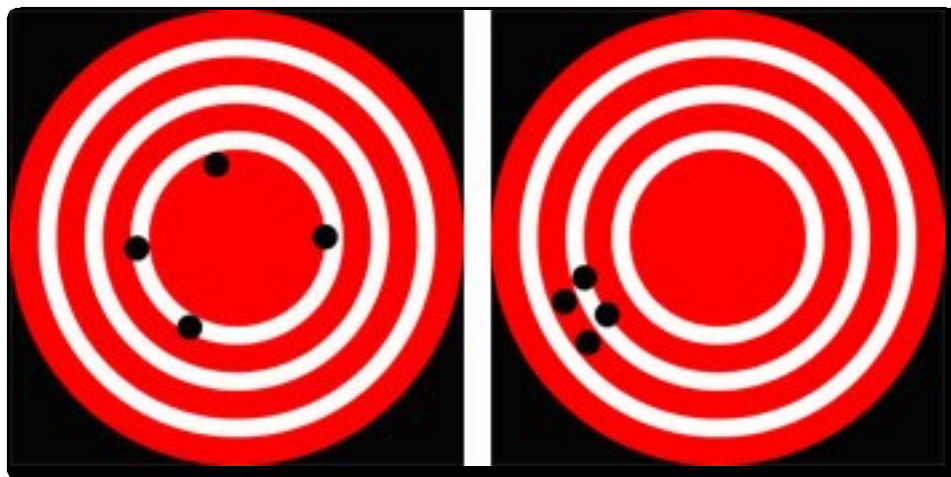
Veľmi dôležité je však rozlišovať tieto pojmy. Zatiaľ čo chyba, či už náhodná alebo systematická, predstavuje rozdiel medzi nameranou hodnotou a skutočnou hodnotou meraného javu, neurčitost' vyjadruje pochybnosť o nameranom výsledku. Za neurčitost' sa okrem chýb nepovažuje niekoľko ďalších pojmov. Ide napríklad o hrubé chyby spôsobené ľuďmi pri meraní alebo chyby spôsobené poruchou meracieho prístroja. Tieto chyby nie je možné považovať za neurčitost', pretože im je možné predísť. Za neurčitost' nie je možné považovať tiež toleranciu, pretože predstavuje prípustné limity zvolené pre výsledky merania [1] [2].

Merania neprebiehajú nikdy pri dokonalých podmienkach. Tento fakt spôsobuje vznik neurčitostí. S využitím správnej metodológie je možné neurčitosti zredukovať. Dôležité je opraviť systematické chyby a snažiť sa minimalizovať chyby náhodné. Aj napriek všetkým snahám nemôžu byť neurčitosti úplne odstránené. Keďže podmienky meraní nie sú nikdy dokonalé, neurčitosti môžu byť spôsobené rôzne:

- merací prístroj – chyby spôsobené vekom prístroja, používaním, ...,
- predmet merania – nestabilita predmetu merania, ...,
- proces merania,

- zručnosť operátora – merania závisia na schopnostiach a úsudku človeka, ktorý meranie vykonáva,
- prostredie – teplota, tlak a ďalšie faktory môžu mať vplyv na merací prístroj alebo na predmet merania,
- vzorky – merania musia byť reprezentatívne vzhľadom k predmetu merania [1] [2].

Neurčitosť v dnešnej dobe zasahuje do mnohých dôležitých odvetví ako napr. predpovede počasia, ekonomického modelovania a okrem iného aj spracovania a vizualizácie dát v GIS. Keďže môžeme neurčitosť vnímať všade okolo nás, je práve jej pochopenie jednou z najdôležitejších výziev súčasnej vedy. Vnímanie a uznávanie neurčitosti v dátach a meraniach je neoddeliteľnou súčasťou pri hodnotení vedeckých výskumov a prác. Každé vedecké meranie obsahuje určitú variabilitu, ktorú vedci interpretujú ako neurčitosť v snahe podeliť sa s ostatnými o úroveň chyby, ktorú v ich meraniach považujú za prijateľnú [2]. Neurčitosť vyjadruje určitú mieru pochybnosti. Toto tvrdenie však podľa [2] neplatí v prípade neurčitosti vo vede. Tá vyjadruje kvantitatívne meranie variability v dátach. Je teda možné povedať, že dáta nemajú presnú hodnotu ale určitý rozsah očakávaných hodnôt. Takúto neurčitosť môžeme rozdeliť do dvoch kategórií. Prvou je presnosť (accuracy), ktorá popisuje ako dobre sa meraná hodnota približuje k teoretickej správnej hodnote merania. Druhou kategóriou je precíznosť (precision). Táto kategória popisuje stupeň, s akým sú jednotlivé merania rozptýlené okolo strednej hodnoty. Rozdiel medzi jednotlivými kategóriami je zobrazený na obrázku 3. Ľavý terč ukazuje dobrú presnosť, pretože strely sa nachádzajú v blízkom okolí stredu. Precíznosť je však nízka. Pravý terč ukazuje naopak vysokú precíznosť, pretože sa strely nachádzajú blízko pri sebe. V tomto prípade je však presnosť nízka.



Obrázok 3: Vysvetlenie pojmov presnosť a precíznosť [2]

3.1.1 Neurčitost' v GIS

Problematika neurčitosti sa nevyhla ani oblasti geoinformatiky. Základom GIS sú dáta, ktoré sú v systémoch uchovávané, spracovávané a vizualizované. Geografické dáta alebo informácie, či už ide o DMR, vegetačný kryt, mieru nezamestnanosti apod. , pochádzajú z rôznych meraní. Ako už bolo spomínané vyššie, neexistuje meranie, ktoré by nezahŕňalo pochybnosť. Je teda možné tvrdiť, že aj pri dátach, s ktorými sa v GIS pracuje, sa stretávame s neurčitosťou.

Neurčitosti a nepresnosti v dátach sú pri riešení rôznych GIS analýz často ignorované. Ľudia si často nie sú ani vedomí prítomnosti neurčitosti v dátach. Pri použití takýchto dát ako vstupov pre rôzne analýzy a operácie sa neurčitost' prejaví taktiež vo výsledkoch. Analýzy sa často vykonávajú pre podporu rozhodovania. Výsledky analýz môžu slúžiť ako hlavné podklady pre dôležité rozhodnutia. Použitie takýchto neurčitých výsledkov bez vedomia o možnej neurčitosti môže viesť k nesprávnym rozhodnutiam. Z toho dôvodu je nutné neurčitost' vnímať. Analýza neurčitosti v dátach môže v konečnom dôsledku zmeniť výsledné rozhodnutia a taktiež môže poskytnúť doplnkové informácie k popisu kvality použitých dát. Čoraz viac sa preto začína používať takzvané soft rozhodovanie. Takéto rozhodovanie je založené na pravdepodobnosti výskytu nejakého javu. Teda napríklad pri určovaní zaplavenia územia pri povodni nebudeme tvrdiť, že územie bude zaplavené ale že bude zaplavené s pravdepodobnosťou napr. 80%. Aj napriek očividnému významu vnímania neurčitosti sa často v praxi analýzy neurčitosti nevykonávajú. Hlavnými dôvodmi sú zložitost' analýz, časová náročnosť a nutnosť expertných znalostí. Pre organizácie je teda dôležité určiť si pomer medzi pridanou hodnotou analýzy neurčitosti a cenou potrebnou na jej vykonanie [9] [15].

Geografické dáta predstavujú reprezentáciu objektov a javov z reálneho sveta. Objekty a javy reálneho sveta nie je možné zachytiť do digitálnej podoby s dokonalou presnosťou. Jedným z obmedzujúcich faktorov je náročnosť dát na ukladací priestor. Čím presnejšie sú dáta, tým väčší ukladací priestor je potrebný pre ich uskladnenie. Keďže ukladacie priestory počítačov nie sú neobmedzené, je potrebné dáta zjednodušovať. Prevod objektov a javov reálneho sveta do zjednodušenej digitálnej podoby umožňujú procesy ako abstrakcia a generalizácia. Výsledkom týchto procesov je konceptuálny model reálneho sveta. Práve rozdielnosti medzi reálnym svetom a jeho digitálnou reprezentáciou predstavujú spomínanú neurčitost' [17].

Ďalším procesom, pri ktorom dochádza k vzniku neurčitostí, je geoprocessing. V dnešnej dobe je bežné, že určitý objekt alebo jav reálneho sveta môže byť reprezentovaný dátami z rôznych zdrojov. Rozdielnosti v dátach môžu byť spôsobené odlišnými použitými formátmi, štandardmi, rozlíšením apod. Keďže medzi GIS systémami a rôznymi formátmi dát zväčša neexistuje interoperabilita, je náročné vykonávať transformácie dát z jedného systému do druhého. Asi najlepším príkladom tohto procesu je konverzia dát z rastrovej do vektorovej podoby a naopak. Aj keby pôvodné dáta, z ktorých sa konvertuje do inej podoby, boli bezchybné a neobsahovali neurčitosti, výsledné dáta by nemohli byť vo väčšine prípadov považované za kópiu originálu. Výsledné dáta obsahujú takzvané procesné chyby (processing errors), ktoré vznikajú pri konverzii dát. Tento

problém však nepostihuje dáta len pri konverzii. V prípade využitia rôznych geoprocessingových nástrojov (napr. buffer, prekryvné operácie, ...) dochádza taktiež ku kombináciám dát z rôznych zdrojov. Operátori využívajúci tieto nástroje často zabúdajú na fakt, že rozdielnosti vo vstupných dátach sa prenášajú do výsledkov. S každým ďalším použitím týchto dát v ďalších operáciách sa neurčitost' zväčšuje [12] [17].

Problémom môže byť taktiež kombinácia rôznych dátových vrstiev. Konkrétne sa jedná o kombináciu vrstiev s rôznou presnosťou alebo úrovňou detailu. Ak napríklad skombinujeme veľmi presné a detailné dáta o budovách so značne generalizovanou vrstvou cestnej siete, bude určite dochádzať k nepresnostiam a prekryvom, ktoré sa v reálnom svete nevyskytujú [12].

Geografické informácie môžu byť v digitálnej podobe reprezentované rôzne. To ako sú reprezentované závisí od typu geografickej informácie. Rozlišujeme 3 typy možných reprezentácií. Prvou sú diskkrétne objekty. Takto reprezentované môžu byť napríklad rieky, obydliá, cestná sieť apod. Druhou možnosťou reprezentácie sú takzvané polia. Polia delíme na polia kategoriálnych premenných a kontinuálnych premenných. Tento typ reprezentácie sa používa pre zobrazovanie priestorovo distribuovaných javov reálneho sveta. Ako príklad poľa kategoriálnych premenných je možné uviesť využitie územia, kde je pole rozdelené do niekoľkých kategórií podľa typu využitia územia. Príkladom poľa kontinuálnych premenných môže byť napríklad digitálny model reliéfu, v ktorom sa plynule mení nadmorská výška. Na základe tohto rozdelenia je možné rozdeliť taktiež neurčitost'. Hovoríme teda o neurčitosti v kontinuálnych premenných, kategoriálnych premenných a v objektoch [12].

Neurčitost' v kontinuálnych premenných

Najznámejším príkladom kontinuálnej premennej je digitálny model terénu. Keďže DMR slúži ako vstupná vrstva pre mnohé analýzy a operácie, je jeho presnosť jedným zo základných parametrov. Z toho jasne vyplýva, že neurčitost' v DMR nadobúda veľký význam. Presnosť sa konkrétne vzťahuje k výškovým dátam. Preto sa aj samotné neurčitosti budú vzťahovať k výškovým dátam. DMR, podobne ako všetky dáta získané z meraní, obsahujú systematické a náhodné chyby. Ani pri použití veľmi presných techník získavania DMR (napr. LIDAR) nebude model bezchybný a nebude dokonale reprezentovať skutočný terén. Na vznik neurčitostí môže mať vplyv použité fotogrametrické vybavenie, operátori vykonávajúci vzorkovanie prípadne postupy pre redukciu dát. Tieto faktory môžu ovplyvňovať presnosť DMR v prípade, že je vytvorené z fotogrametricky vzorkovaných výškových dát. K získaniu výškových dát existuje okrem fotogrametrických postupov a využitia párov stereosnímkov ešte niekoľko ďalších postupov. K týmto postupom je možné zaradiť LIDAR, digitalizáciu vrstevníc z topografických máp, diaľkový prieskum Zeme, využitie GPS a niekoľko ďalších. Ani jeden z uvedených postupov však nezaistí dokonalú reprezentáciu terénu. Dáta získané uvedenými postupmi budú vždy v určitej miere obsahovať neurčitosti a chyby [8] [12].

Neurčitost' v kategoriálnych premenných

Aj v tomto prípade je na mieste uviesť na úvod príklad. Najlepším príkladom je pravdepodobne pokrytie územia. Územie je rozdelené do niekoľkých kategórií, ktoré definujú typy povrchu ako napríklad vodné plochy, lesy, zastavané územia apod. K získaniu dát o pokrytí územia sa využíva napríklad diaľkový prieskum Zeme. Z družicových snímok sa klasifikáciou priradujú obrazové dáta do jednotlivých kategórií. Práve klasifikácia môže byť zdrojom neurčitostí vo výsledných dátach. Či už ide o ručnú klasifikáciu, kde sa využívajú skúsenosti operátora, alebo ide o automatizovanú klasifikáciu vykonávanú softvérom, vždy dôjde k nesprávnej klasifikácii niektorých pixelov v obrazových dátach. Na nesprávnu klasifikáciu vplyvajú viaceré faktory. Hlavným faktorom je človek. Operátor musí na základe skúseností a svojho úsudku priradiť časti obrazu do jednotlivých kategórií. To však v mnohých prípadoch nie je možné. Niektoré kategórie typu povrchu môžu mať v obraze podobný kontrast, textúru alebo tón. Je ich teda veľmi ťažké rozlíšiť. Ďalším faktorom je kvalita obrazových dát. V prípade nízkeho rozlíšenia obrazových dát môže jeden pixel zaberať veľké územie a tým pádom aj zahŕňať viac typov povrchu [12].

Neurčitost' v objektoch

Veľa objektov reálneho sveta je možné v GIS reprezentovať vo forme objektov. Ako príklad je možné uviesť objekty ako budovy, riečnu sieť, komunikácie a mnoho ďalších. Objekty môžu byť reprezentované buď ako rastre alebo vektory. Objekty reprezentované rastrom sa skladajú z pravidelných buniek, zatiaľ čo vektorové objekty môžu byť bodové, líniové alebo polygónové. Neurčitost' v objektoch je významná hlavne v polohe. Keďže objekty môžu často vznikať napríklad vektorizáciou máp, leteckých snímok alebo aj GPS meraním, neurčitost' môže vznikať práve nepresným získaním dát. Hovoríme o polohovej neurčitosti. Táto neurčitost' sa prejavuje pri nepresnej znalosti súradníc objektu. Súradnice objektu nie je možné poznať s dokonalou presnosťou. Aj najmenšie nepresnosti a odchýlky v polohe sa môžu prejaviť vo výsledku ako chyby. Objekty môžu okrem informácie o svojej polohe obsahovať aj ďalšie rozširujúce informácie v podobe atribútov. V tomto prípade môžeme hovoriť taktiež o atribútovej neurčitosti [12] [15] [17].

Neurčitost' je podľa [9] rozdelená na základe hlavných zdrojov neurčitosti na neurčitost' vo vstupných dátach, vo vzťahoch a na neurčitost' prijímaného rizika rozhodovania.

Neurčitost' vo vstupných dátach

V tomto prípade sa jedná o chyby a nepresnosti spôsobené pri meraní a získavaní vstupných dát. V prípade, že sa jedná o kvantitatívne dáta, je neurčitost' reprezentovaná strednou chybou (RMS – root mean square). Ak ide o kvalitatívne dáta, neurčitost' je reprezentovaná proporcionálnou chybou [9].

Neurčitost' vo vzťahoch

V tomto prípade sa neurčitost' vyskytuje vo vzťahu, ktorý existuje medzi vstupnými dátami a cieľovou sadou objektov. Podľa [9] môže neurčitost' vo vzťahoch vznikáť z niekoľkých zdrojov.

- **neurčitost' v definícii rozhodovacieho kritéria** – rozhodovacie kritériá môžu byť buď jednoznačne interpretovateľné (neurčitost' nie je prítomná vo vysokej miere) alebo nejednoznačne interpretovateľné (neurčitost' vo vyššej miere) [9],
- **neurčitost' v preukázateľnosti vzťahu** – miera preukázateľnosti vzťahu medzi vstupnými dátami a sledovanou charakteristikou [9],
- **chyba v špecifikácii modelu** – v prípade použitia viacerých kritérií pre rozhodovanie nemusia byť tieto kritériá dostatočné a tiež nemusí byť jednoznačné určiť výslednú pravdepodobnosť z jednotlivých kritérií [9].

Neurčitost' prijímaného rizika rozhodovania

V tomto prípade sa jedná o správnu voľbu rozhodovacieho rizika. Rozhodovacie riziko predstavuje riziko, že rozhodnutie bude chybné. V procese rozhodovania je teda potrebné vhodne zvoliť pravdepodobnosť (mieru rizika), s akou chceme výsledok získať [9].

Podľa [17] môžeme neurčitost' v GIS definovať ako mieru rozdielu medzi dátami a významom, ktorý k dátam pripojí užívateľ. Inak povedané, jedná sa o mieru rozdielu medzi aktuálnym obsahom databázy a obsahom, ktorý by užívateľ vytvoril priamym a dokonale presným pozorovaním reality. Neurčitost' v geografických informáciách, ktoré sú charakterizované heterogenitou, priestorovými závislosťami a vágnosťou, je podľa [17] považovaná za relevantnejší koncept ako chyby. V [6] je neurčitost' označená za Achillovu pätu GIS alebo za temné tajomstvo, ktoré môže položiť celý projekt v prípade, že sa dostane na povrch. Toto tvrdenie je založené na pravde, pretože neurčitost' nie je stále v mnohých prípadoch braná do úvahy a výsledky analýz sú preto prezentované omnoho presnejšie ako v skutočnosti sú.

3.1.2 Šírenie neurčitosti

Bayesova teória pravdepodobnosti

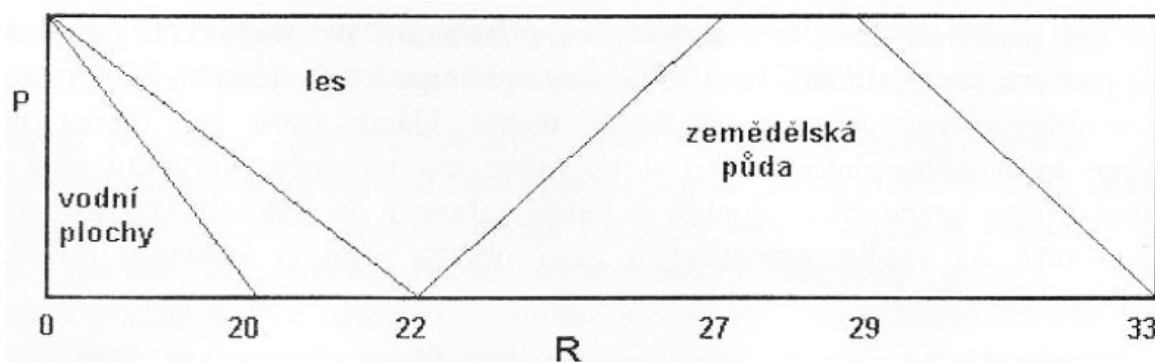
Bayesova teória pravdepodobnosti je jednou z interpretácií teórie pravdepodobnosti. Táto teória poskytuje rámec pre rozhodovanie alebo vytváranie záverov s využitím pravdepodobnosti. Podľa [9] je teória rozšírením klasickej teórie pravdepodobnosti a dovoľuje kombinovať nové pravdepodobnosti (dôkazy) k hypotéze s primárnou znalosťou vo výsledný odhad pravdepodobnosti, že je hypotéza pravdivá. Teória je využívaná pre ocenenie vzťahu v prípade, že je úplná informácia dostupná. Táto teória nepripúšťa nevedomosť. To znamená, že v prípade nedostatku dôkazov pre prijatie hypotézy pôsobí tento nedostatok ako dôkaz proti hypotéze [9] [13].

Dempster – Shaferova teória

Táto teória predstavuje rozšírenie Bayesovej teórie pravdepodobnosti. Dempster – Shaferova teória pripúšťa neznalosť alebo nevedomosť. To znamená, že informácie, s ktorými sa pracuje nemusia byť kompletne. Základným predpokladom pre Dempster - Shaferovu teóriu je podľa [9] to, že nevedomosť existuje priamo v znalostiach a že dôvera v hypotézu nemusí byť nutne doplnkom dôvery v negáciu tejto hypotézy. Táto teória teda v porovnaní s predchádzajúcou teóriou lepšie pracuje s neurčitou, ktorej zdrojom je zväčša nedostatok informácií alebo neznalosť.

Teória fuzzy množín

V klasickej booleovskej logike sa pre rozhodovanie využíva len pravdivosť alebo nepravdivosť výroku. Tento prístup nie je vhodný pre rozhodovanie v reálnom svete, pretože nie všetky výroky majú presnú príslušnosť. V tomto prípade sa teda neberie do úvahy neurčitosť v dátach. Fuzzy logika rozširuje klasickú booleovskú logiku práve o spomínanú neurčitosť. Ako príklad rozdielu medzi klasickou a fuzzy logikou je možné uviesť klasifikáciu digitálneho obrazu z diaľkového prieskumu do kategórií využitia územia. Je bežné, že v sa v takýchto dátach vyskytujú pixely, ktoré zasahujú do viac ako jednej kategórie. Klasická booleovská logika však umožňuje takýto pixel priradiť len do jednej kategórie. Teda k pixelu priradí hodnotu 1 ak patrí do danej kategórie a 0 ak nie. Naopak fuzzy logika umožňuje pre daný pixel určiť pravdepodobnosť príslušnosti do viacerých kategórií. Podobne ako booleovská logika, aj fuzzy logika priradzuje hodnoty 0 a 1, ktoré znamenajú úplnú neúčasť alebo účasť v danej kategórii. Rozdielom oproti predchádzajúcemu prístupu je to, že umožňuje pixelu priradiť aj hodnoty medzi 0 a 1, ktoré vyjadrujú takzvaný fuzzy stupeň členstva. To umožňuje vyjadriť spomínanú neurčitosť. Vzhľadom k uvedenému príkladu bude teda stupeň členstva vyjadrovať pravdepodobnosť príslušnosti určitej kategórie na ploche, ktorú predstavuje jeden pixel. Na obrázku 4 je zobrazená takzvaná funkcia príslušnosti, pomocou ktorej sa určuje pravdepodobnosť príslušnosti pixelu k určitej triede. R predstavuje hodnotu odrazivosti a P príslušnosť k určitej triede. Napríklad o obrazovom bode s odrazivosťou približne 25 môžeme povedať, že sa na jeho ploche vyskytuje les s približne 50% pravdepodobnosťou [3] [9] [12].

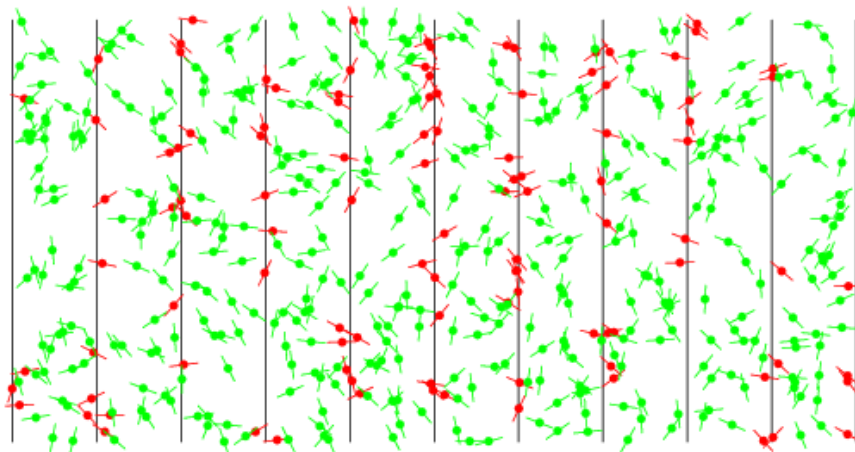


Obrázok 4: Príklad funkcie príslušnosti [3]

3.1.3 Metóda Monte Carlo

Metóda Monte Carlo predstavuje výpočtové algoritmy, ktoré k získaniu výsledku využívajú náhodné alebo pseudonáhodné čísla. Jedná sa o stochastické metódy, ktoré slúžia k riešeniu deterministických alebo pravdepodobnostných úloh. To závisí od toho, či sa priamo zaoberajú správaním a výsledkom náhodného procesu. Podľa [7] zahŕňa metóda Monte Carlo takú časť experimentálnej matematiky, ktorá sa zaoberá experimentmi s náhodnými číslami [16].

Prvopočiatky metódy Monte Carlo siahajú až do roku 1777 kedy francúzsky matematik Georges Louis Leclerc de Buffon vymyslel matematickú úlohu, ktorá sa podľa svojho tvorca nazýva Buffonova ihla. Základným princípom úlohy je hádzanie ihly na list papiera. Na papieri sú nakreslené rovnobežné línie, medzi ktorými je rovnaká vzdialenosť. Dĺžka ihly je menšia ako vzdialenosť medzi líniami. Úlohou je určiť pravdepodobnosť toho, že ihla pretne niektorú z línii. Proces sa opakuje niekoľko krát a určí sa pomer preťatia línie z celkového počtu pokusov. Keďže spomínaná pravdepodobnosť je rovná hodnote $2/\pi$, je teda možné pomocou tejto úlohy približne určiť hodnotu π [7].



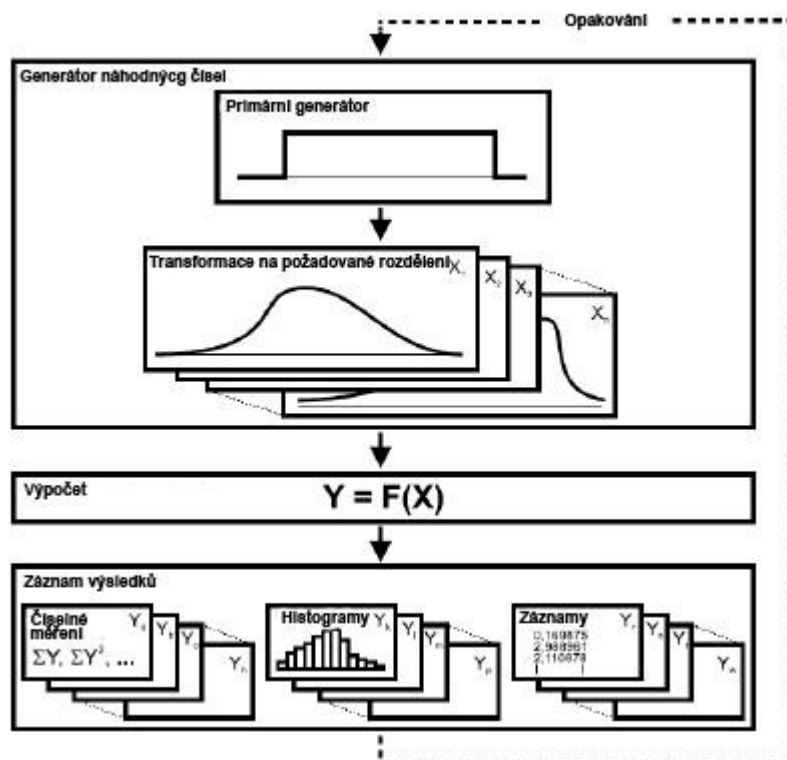
Obrázok 5: Ukážka Buffonovej úlohy [19]

Obrázok 5 ukazuje úspešnosť preťatia línii ihlami pri 500 pokusoch. Dĺžka ihly v pokuse bola rovná $1/3$ vzdialenosti medzi jednotlivými líniami. Z 500 vykonaných hodov preťalo línie 107 ihiel (červené ihly v obrázku 5). Buffonova úloha umožňuje približne určiť hodnotu π . Pomocou pokusu z obrázku 5 bola určená približná hodnota $\pi = 3,116 \pm 0,073$ [19].

Prvý krát však bola metóda Monte Carlo využitá pre reálny experiment až počas druhej svetovej vojny. Vtedy ju pri vývoji atómovej bomby využili John von Neumann a Stanislaw Ulam, keď vykonávali priamu simuláciu pravdepodobnostných problémov týkajúcich sa náhodnej difúzie neutrónov v štepnom materiály [7].

Základný princíp metódy Monte Carlo je možné zhrnúť do piatich krokov:

1. vytvorenie parametrického modelu (definícia domény možných vstupov),
2. generovanie sady náhodných vstupov,
3. vyriešenie modelu,
4. opakovanie 2. a 3. kroku,
5. zlúčenie výstupov modelu a analýza výsledku.



Obrázok 6: Schéma metódy Monte Carlo [42]

Metóda Monte Carlo využíva náhodné čísla. Manipulácia s týmito číslami je jednou zo základných operácií tejto metódy. Jedným z hlavných rysov všetkých výpočtov využívajúcich metódu Monte Carlo je, že v určitom bode je nutné nahradiť náhodné premenné sadou odpovedajúcich skutočných hodnôt, ktoré majú štatistické vlastnosti náhodných premenných. Tieto hodnoty sa nazývajú náhodné čísla. Použitie náhodných čísel by však nemalo byť neuvážené, pretože každé z týchto náhodných čísel môže byť potenciálne zdrojom neurčitosti v konečnom výsledku. [7] Počítače neumožňujú generovanie náhodných čísel. Je pre ne vhodnejšie vygenerovať sekvenciu čísel jedno po druhom podľa potreby. Pravidlo, ktoré takúto sekvenciu čísel generuje, zabezpečuje, že žiaden adekvátny štatistický test nedokáže odhaliť akékoľvek významné odchýlky od náhodnosti. Takto vygenerovanú sekvenciu nazývame pseudonáhodnú. Jednou z veľkých výhod spomínaného pravidla je, že umožňuje presnú reprodukciu vygenerovanej sekvencie, opakovanie spúšťanie simulácie a testovanie [5] [7].

K úlohám riešeným s pomocou metódy Monte Carlo môžeme pristupovať dvoma spôsobmi:

1. geometrická metóda založená na geometrickej pravdepodobnosti - napr. Buffonova úloha,
2. výpočet založený na odhade strednej hodnoty náhodnej premennej - napr. pri výpočte integrálov [4].

Pri metóde Monte Carlo rozlišujeme dve varianty:

- analógový model - nutnosť modelovania celého problému na počítači
- neanalógový model - pre výpočet sa nevyužíva model reálneho deja

Presnosť a efektívnosť metódy závisí od:

- kvality generátora náhodných čísel
- výberu racionálneho algoritmu výpočtu
- kontroly presnosti získaného výsledku
- počtu opakovaní
- priestorového rozlíšenia dát

Podľa [8] je presnosť metódy Monte Carlo teoreticky úmerná odmocnine z počtu opakovaní. To znamená, že pre zdvojnásobenie presnosti je potrebné zvýšiť počet opakovaní štyrikrát. Za dostatočný počet je považovaných 100 opakovaní a za nedostatočný je považovaných menej ako 20 opakovaní.

Metóda Monte Carlo má v dnešnej dobe široké využitie od simulácie experimentov, cez počítanie určitých integrálov až po riešenie diferenciálnych rovníc. Okrem matematických úloh sa však využíva v oblastiach ako sú fyzika, biológia, štatistika, počítačová grafika alebo v oblasti obchodu a financií. Metóda Monte Carlo je však taktiež často využívaná práve v GIS. Asi najčastejším využitím metódy v GIS je šírenie chýb a neurčitosti v dátach. Ako ďalší príklad je možné uviesť využitie metódy Monte Carlo pre identifikovanie priestorových vzťahov medzi vysokými koncentraciami radónu a seizmickou aktivitou. Ďalším využitím je použitie metódy pre optimalizáciu transportu žiakov do škôl alebo pre analyzovanie pohybu živočíchov v morskom prostredí. Táto metóda bola taktiež využitá pre mapovanie nebezpečných zosuvov pôdy v Taiwane.

3.2 Implementácia metódy Monte Carlo v ArcGIS pre stanovenie odtoku vody

Aby mohla byť extrahovaná línia stoku vody z rozptýlených dát, je nutné najprv tieto dáta vygenerovať. K dosiahnutiu výsledného efektu rozptýlených dát bola využitá metóda Monte Carlo, ktorú bolo nutné implementovať do softwaru ArcGIS. Základom metódy Monte Carlo je opakovaný výpočet vytvoreného modelu, kde sa v každej iterácii generuje nová sada náhodných vstupov. V prípade tejto diplomovej práce predstavuje vytvorený

model proces výpočtu stoku vody po teréne a sada náhodných vstupov predstavuje náhodné chyby v DMR. Pod implementáciou metódy Monte Carlo pre stanovenie stoku vody si teda môžeme zjednodušene predstaviť opakovanie výpočtu stoku vody v stanovenom počte opakovaní. V každom opakovaní budú vygenerované náhodné čísla predstavujúce chyby, ktoré sa pripoja k DMR a budú predstavovať neurčitosti v dátach. Inak povedané, ide o cyklus, v ktorom sa v každom opakovaní generuje DMR upravený o náhodné chyby, nad ktorým sa následne určuje stok vody.

Okrem neurčitosti zavádzanej do dát vo forme náhodných chýb v nadmorských výškach aplikovaných na DMR, je možné určiť taktiež neurčitosti spôsobené interpoláciou, ktorou vzniká samotné DMR z nameraných výškových bodov. To je možné vykonať napríklad pomocou funkcie *Gaussian Geostatistical Simulations*, ktorú je možné nájsť v ArcGIS. Tento druh neurčitosti bol spracovaný napríklad v [8]. Týmto spôsobom sa však náhodná zložka spracuje už na úrovni DMR. Jednou z podmienok riešenia diplomovej práce je však spracovanie náhodnej zložky až v niektorom z krokov analýzy stoku vody. Preto nie je toto riešenie súčasťou diplomovej práce.

ArcGIS 10 obsahuje všetky nástroje a funkcie, potrebné k určeniu stoku vody po teréne a aj k následnému generovaniu rozptýlených dát. Z týchto dôvodov bol pre implementáciu metódy zvolený práve tento software. Analýza stoku vody musí byť vykonaná v niekoľkých opakovaniach. Aby sa tento proces zautomatizoval, bol vytvorený skript v jazyku Python, ktorý umožňuje vykonávať potrebné analýzy ľubovoľný počet krát bez nutnosti akéhokoľvek užívateľského vstupu okrem úvodného zadania vstupov a potrebných hodnôt.

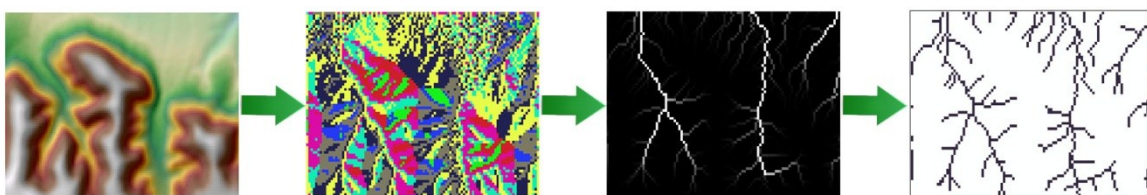
3.2.1 Princíp analýzy stoku vody

Analýza stoku vody a generovanie odvodňovacích sietí patrí k základným hydrologickým úlohám v GIS. Odvodňovacie siete predstavujú proces odtoku vody po povrchu, ktorý je reprezentovaný digitálnym modelom reliéfu. Tento proces je možné zaradiť ako časť hydrologického cyklu, ktorý zahŕňa ďalšie procesy ako zrážkovú činnosť, evapotranspiráciu apod. [47].

Keďže stok vody prebieha po povrchu, základným a nevyhnutným vstupom pre akéhokoľvek analýzy stoku vody je teda digitálny model reliéfu. Nad vhodne zvoleným DMR je následne možné vykonávať všetky potrebné operácie, ktoré vedú k vygenerovaniu odvodňovacej siete. Proces analýzy stoku vody je možné zhrnúť do niekoľkých krokov:

1. vytvorenie hydrologicky korektného DMR
2. vytvorenie rastra so smermi stoku vody
3. vytvorenie rastra akumulovaného odtoku
4. vytvorenie rastra odvodňovacej siete

Tento postup je taktiež zobrazený na obrázku 7.

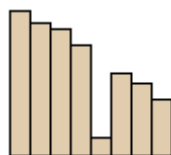


Obrázok 7: Postup generovania odvodňovacej siete

Pre vykonávanie hydrologických analýz obsahuje ArcGIS sadu funkcií a operácií, medzi ktorými sa nachádzajú aj funkcie potrebné pre vykonanie spomenutých krokov.

Vytvorenie hydrologicky korektného DMR

Digitálne modely reliéfu často obsahujú malé nedokonalosti, ktoré spôsobujú pri analýze stoku nespojitý tok. Ide o terénne priehlbiny, ktoré poznáme pod pojmom „sink“. Tieto lokálne depresie sa môžu v skutočnosti vyskytovať v reálnom teréne alebo môže ísť o umelo vytvorené miesta. Tieto nedokonalosti bývajú najčastejšie spôsobené rozlíšením dát alebo napríklad zaokrúhľovaním hodnôt výšok. Môžu byť taktiež vytvorené počas interpolácie, pomocou ktorej vzniká DMR z bodov alebo vrstevníc. Po pojmom sink si teda môžeme podľa [32] predstaviť bunky alebo skupinu priestorovo pripojených buniek, pre ktoré nemôže byť priradená žiadna hodnota, predstavujúca smer stoku vody. K tomu dochádza napríklad keď všetky susedné bunky majú vyššie hodnoty ako aktuálne testovaná bunka [32].

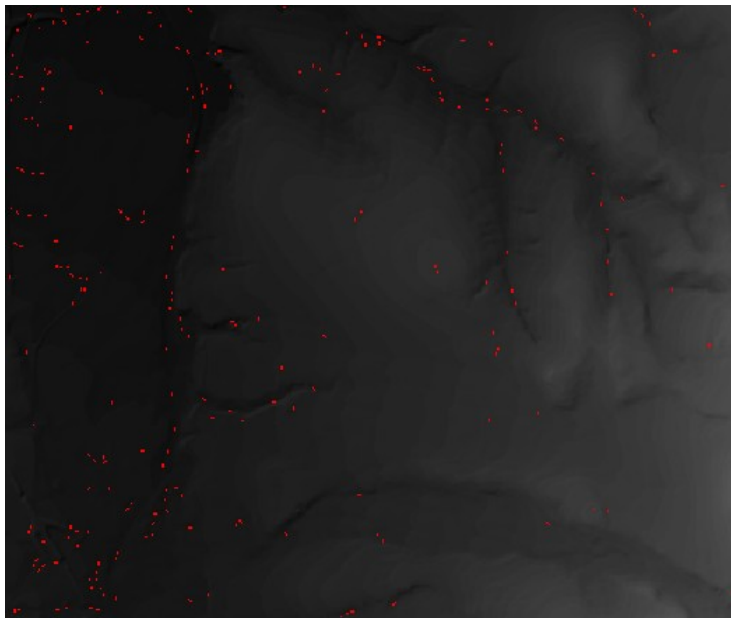


Obrázok 8: Profil terénu obsahujúceho „sink“ [31]

Týmto javom nie je možné priradiť hodnotu smeru stoku vody po teréne. Je im teda priradená hodnota, ktorá predstavuje sumu hodnôt možných smerov stoku. Ak je teda napríklad najstrmší pokles v nadmorskej výške od sledovanej bunky na pravú aj ľavú stranu zároveň (hodnoty smeru stoku pre pravú stranu sú 1 a ľavú 16), bude hodnota smeru stoku pre takúto bunku stanovená na hodnotu 17 [32].

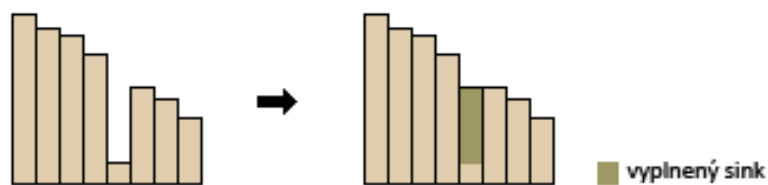
Tieto nepresnosti môžu spôsobiť to, že akumulácia stoku vody bude nepresná, pretože raster so smermi stoku vody bude obsahovať aj hodnoty, ktoré nepredstavujú žiaden smer ale sú súčtom možných smerov z buniek. To môže spôsobiť nespojitosť výsledného stoku vody, pretože tok vody v týchto miestach skončí. Prirodzený výskyt tohto javu sa považuje za veľmi zriedkavý a v prípade digitálnych dát s veľkosťou bunky 10 a viac metrov je považovaný za chybu. So zvyšujúcou sa veľkosťou bunky rastie taktiež výskyt javu v dátach. Keďže sa jav považuje za chybu, je nutné ju lokalizovať a odstrániť aby nedochádzalo k nepresnostiam v ďalších analýzach. Digitálny model reliéfu, ktorý je opravený a neobsahuje žiadne lokálne depresie, sa nazýva hydrologicky korektný DMR [32].

Pre lokalizáciu lokálnych depresíí obsahuje ArcGIS funkciu *Sink*. K jej použitiu je nutné mať licenciú na Spatial Analyst. Vstupom pre túto funkciu je raster s hodnotami smeru stoku (flow direction raster). Výsledkom je raster obsahujúci lokálne depresie, ktorým je priradená unikátna hodnota (od 1 po počet bezodtokových buniek) [44].



Obrázok 9: Lokalizované lokálne depresie v DMR

K vytvoreniu hydrologicky korektného DMR však nestačí tieto bunky lokalizovať. K vyplneniu buniek lokalizovaných funkciou *Sink* slúži ďalšia funkcia, ktorá sa volá *Fill*. Rovnako ako pri funkcii *Sink* je nutné mať licenciú na Spatial Analyst. Táto funkcia slúži na lokalizáciu a následné vyplnenie týchto buniek. Bunky sa vyplňajú do výšky, v ktorej by sa v prípade naplnenia vodou začala voda vylievať. Vstupom je digitálny model reliéfu. Ďalší vstup je nepovinný z-limit. Špecifikuje maximálnu hĺbku bunky označenej ako sink, ktorá bude vyplnená. Po zadaní vstupov sa funkcia vykonáva v iteráciách až kým nie sú všetky bunky vyplnené [24] [28].



Obrázok 10: Profil terénu obsahujúceho sink a jeho následné vyplnenie [27]

Ak nemáme k dispozícii hotové DMR ale body alebo vrstevnice alebo polygóny, je možné vytvoriť hydrologicky korektný DMR priamo z týchto prvkov. Na to slúži funkcia *Topo to Raster*, ktorá dokáže interpolovať hydrologicky korektný DMR z týchto dát. Funkcia je založená na metóde ANUDEM, ktorá zabezpečuje spojitosť výsledného toku a správnu reprezentáciu hrebeňov a tokov vytvorených zo vstupných vrstevníc. Táto

metóda umožňuje odstrániť všetky lokálne depresie v DMR, ktoré neboli identifikované užívateľom [34].

Vytvorenie rastru so smermi stoku vody

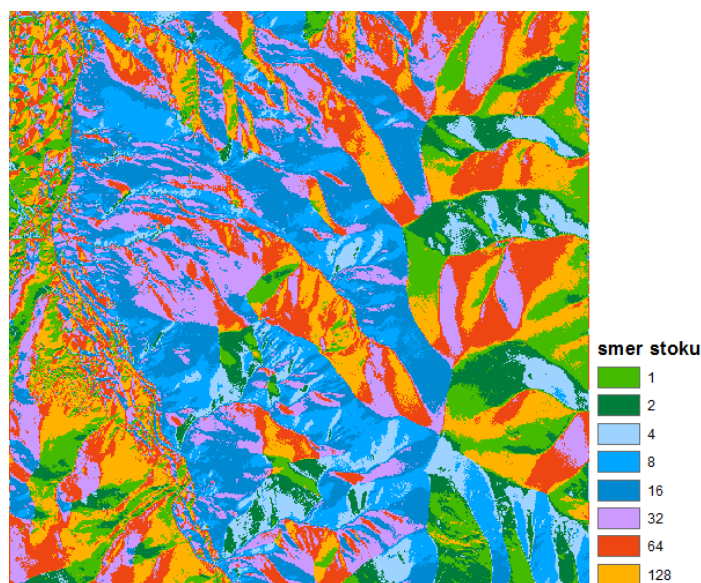
V tomto kroku je vytvorený raster, ktorého bunky obsahujú hodnoty odpovedajúce smeru stoku vody. Vytvorenie rastru so smermi stoku (flow direction raster) je jednou z kľúčových operácií pri určovaní hydrologických charakteristík terénu. Základným princípom je prideliť každej bunke rastru jednu z ôsmich hodnôt, ktoré predstavujú smer stoku vody po teréne. Jednotlivé hodnoty v závislosti na smere sú zobrazené na obrázku 11 [30].

32	64	128
16		1
8	4	2

Obrázok 11: Hodnoty predstavujúce jednotlivé smery stoku vody [29]

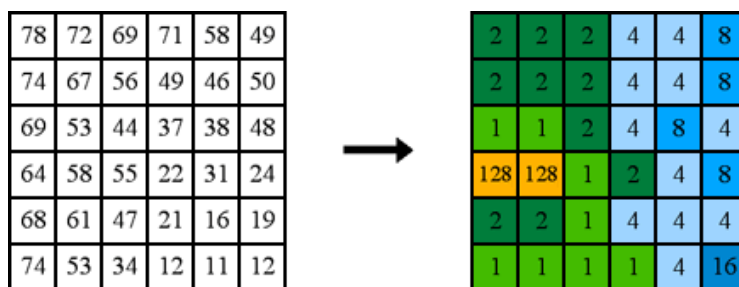
Hodnoty smeru sa pridelujú bunkám na základe polohy bunky s najväčším poklesom nadmorskej výšky vzhľadom k aktuálnej bunke. V [30] je pre smer stoku uvedený nasledujúci vzťah:

$$\text{maximálny pokles} = \text{zmena v hodnote } z \text{ (z-value)} / \text{vzdialenosť} * 100$$



Obrázok 12: Raster s hodnotami smeru stoku vody po teréne

Vzdialenosť sa určuje medzi stredmi buniek. V prípade, že je maximálny pokles rovnaký pri niekoľkých bunkách, zväčší sa prehľadávané okolie. Tento proces sa opakuje až kým sa nenájde bunka s najväčším poklesom. Keď je nájdený smer k takejto bunke, do výslednej bunky sa priradí hodnota zodpovedajúca tomuto smeru. Tento spôsob je zobrazený na obrázku 12. [30]



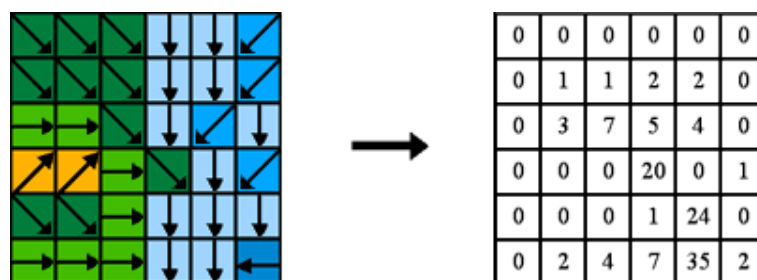
Obrázok 13: Princíp funkcie Flow Direction [29]

Ak sa vo výslednom rastrí nachádzajú aj hodnoty odlišné od hodnôt uvedených na obrázku 11, znamená to, že sa v digitálnom modeli reliéfu nachádzajú už spomínané lokálne depresie (sinks).

Vytvorenie rastra akumulovaného odtoku

Ďalším krokom je z už vytvoreného rastra so smermi stoku vody určiť akumulovaný odtok. Pomocou funkcie *Flow Accumulation* sa vytvorí raster, ktorý obsahuje akumulovaný stok do každej bunky rastru. Každá bunka dostane hodnotu na základe počtu buniek, z ktorých voda tečie práve do tejto bunky. Ak nie je aplikovaná váha, tak bunka, do ktorej priteká jedna bunka, bude mať hodnotu 1. V prípade, že sa v rastrí so smermi stoku vody nachádzajú aj bunky s hodnotou odlišnou od ôsmich stanovených hodnôt predstavujúcich smer stoku, hovoríme o nedefinovanom smere stoku. Takéto bunky nemôžu prispievať k toku vody po svahu, môžu tok iba prijímať z vyššie položených buniek. Výsledkom funkcie je teda raster obsahujúci bunky s hodnotami, predstavujúcimi počet pritekajúcich buniek [26].

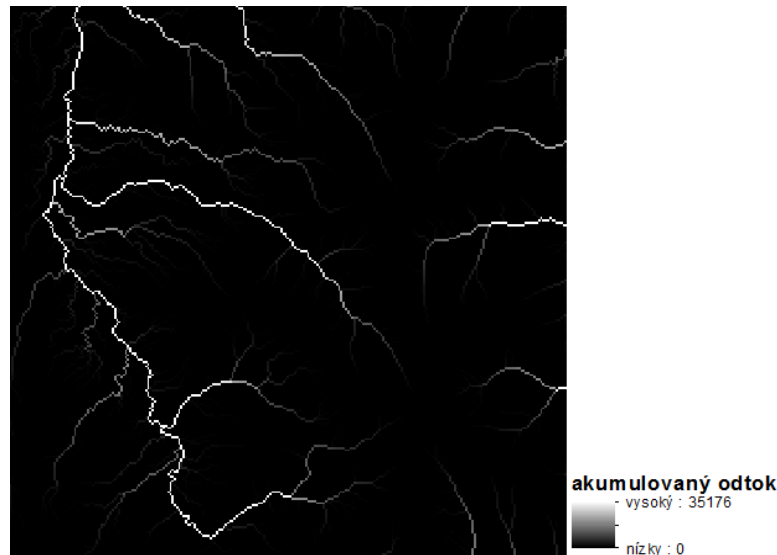
Bunky obsahujúce vysoký akumulovaný odtok môžu predstavovať oblasti, kde sa odtok koncentruje. To môže byť využité pri identifikovaní korýt riek a generovaní riečnej siete. Naopak bunky obsahujúce nulový akumulovaný odtok predstavujú lokálne topografické výšky a môžu slúžiť k identifikácii hrebeňov [26].



Obrázok 14: Princíp funkcie Flow Accumulation [28]

Pre používanie funkcie je nutné mať, podobne ako v predchádzajúcich prípadoch, licenciu na Spatial Analyst. Funkcia má tri vstupy. Prvým a jediným povinným vstupom je raster so smermi stoku vody, z ktorého sa vypočítava akumulácia odtoku. Druhým nepovinným vstupom je raster obsahujúci váhy. Posledným vstupom je dátový typ.

Výsledný raster môže byť dátového typu float alebo integer. Ak nie je zvolená žiadna možnosť, automaticky sa zvolí float [26].

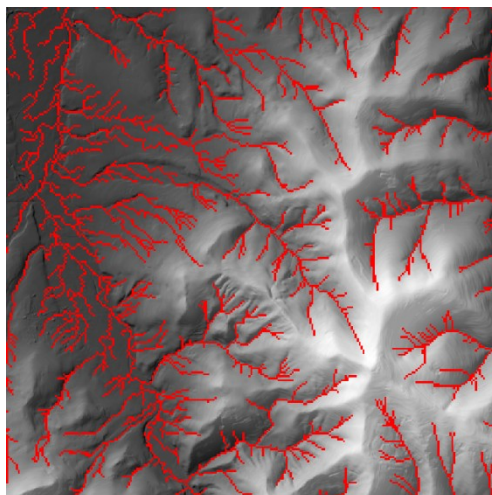


Obrázok 15: Raster akumulovaného odtoku vody

Vytvorenie rastra odvodňovacej siete

Posledným krokom je vytvorenie rastra odvodňovacej siete. Ten generuje z rastra akumulovaného odtoku, ktorý je výsledkom predchádzajúceho kroku. Ide o jednoduchý proces, v ktorom je potrebné definovať prahovú hodnotu. Táto hodnota predstavuje minimálnu hodnotu akumulovaného odtoku, s ktorou budú bunky rastra vybrané do výsledku. Teda ak zvolíme za prahovú hodnotu napríklad 100, do výsledku sa vyberú len bunky, ktoré majú akumulovaný odtok väčší alebo rovný tejto hodnote. Kvalita výslednej odvodňovacej siete teda závisí na správnom výbere prahovej hodnoty.

Jedným zo spôsobov, ako je možné tento krok vykonať v ArcGIS, je použitie funkcie *SetNull*. Táto funkcia definuje bunkám hodnotu NoData na základe definovanej podmienky alebo kritéria. Ak je podmienka splnená, pridelí danej bunke hodnotu NoData. V opačnom prípade pridelí bunke hodnotu, ktorú definuje užívateľ. Táto hodnota môže byť buď vo forme konštanty alebo vo forme rastra, ktorého hodnoty budú použité v prípade nesplnenia podmienky. Na obrázku 16 je zobrazená odvodňovacia sieť vytvorená pomocou funkcie *SetNull* s prahovou hodnotou 30. Do výstupu boli teda vybrané všetky bunky s akumuláciou odtoku väčšou alebo rovnou ako 30 [42].



Obrázok 16: Odvodňovacia sieť vytvorená pomocou SetNull

Pri procese analýzy stoku vody sa môžeme stretnúť s neurčitosťou hneď v niekoľkých prípadoch. Prvým prípadom je chyba vo vstupných dátach. Ide o chyby polohové a výškové. Tieto chyby môžu vznikať v dôsledku nepresností v meraniach a v meracích prístrojoch a bývajú zvyčajne vyčíslené tvorcom dát. Ďalším prípadom, pri ktorom sa môžeme stretnúť s neurčitosťou sú chyby z interpolácie. Tie predstavujú chyby, ku ktorým dochádza počas procesu interpolácie DMR z výškových bodov. Okrem týchto chýb môže dochádzať k nepresnostiam aj vo výslednom stanovenom stoku vody po teréne. V skutočnom svete sa vyskytujú objekty, ktoré nie sú väčšinou do vstupného DMR premietnuté. Tieto objekty ako napríklad budovy môžu odkloniť stok vody. Odkloniť stok môže tiež napríklad poorané pole apod. K neurčitostiam môže dôjsť aj vplyvom kvality vstupných dát. Presnejšie povedané rozlíšením dát. Čím je rozlíšenie vyššie, s tým väčším detailom je možné terén zachytiť a následne stanoviť stok vody presnejšie.

3.2.2 Nástroj pre generovanie rozptýlených dát

Vyššie uvedený postup generuje odvodňovaciu sieť. To však pre potreby diplomovej práce nestačí. Ak by boli na DMR aplikované náhodné chyby, mohli by sme si uvedený postup predstaviť ako jednu iteráciu metódy Monte Carlo slúžiacej pre generovanie rozptýlených dát. Keďže sa pri použití metódy Monte Carlo vykonáva veľký počet operácií, bolo by časovo náročné vykonávať uvedený postup ručne krok po kroku pre každé opakovanie. Preto bol vytvorený nástroj, ktorý tento proces automatizuje.

Prvým krokom bolo vytvorenie skriptu v jazyku Python, ktorý využíva knižnicu ArcPy. Následne bol z tohto skriptu vytvorený toolbox v prostredí ArcGIS pre jednoduchšiu prácu s nástrojom. Tento nástroj umožňuje vykonávať generovanie rozptýlených dát s využitím metódy Monte Carlo v ľubovoľnom počte opakovaní. Nástroj poskytuje niekoľko výstupov, ktoré boli potrebné pre prípadné použitie v procese vytvárania postupov pre extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát.

Charakteristika nástroja

Ako už bolo spomenuté, nástroj pozostáva zo skriptu, z ktorého je vytvorený taktiež ArcGIS toolbox. Skript bol vytvorený v jazyku Python. Tento jazyk bol zvolený z dôvodu, že ESRI v ArcGIS využíva Python ako základný skriptovací jazyk. Aby bolo pomocou Pythonu možné vykonávať rôzne analýzy, spravovať dáta a využívať mnohé ďalšie možnosti ArcGIS, bol vytvorený balíček ArcPy. Pre potreby diplomovej práce bol tento balíček využitý, pretože je vďaka nemu možné v jazyku Python používať všetky funkcie potrebné k analýze stoku vody uvedené v kapitole 3.2.1.

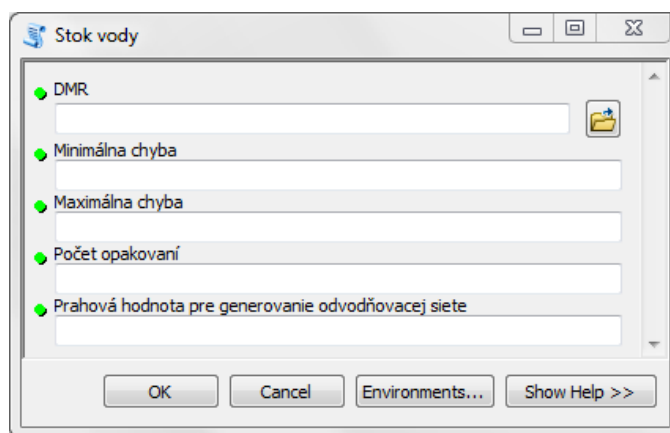
Samotný skript (obrázok 19) pozostáva z dvoch funkcií. Prvou funkciou je *stok()*, ktorá vykonáva cyklus, v ktorom sa vykonávajú jednotlivé kroky popísané v kapitole 3.2.1. Jej hlavnou úlohou je teda generovať rozptýlené dáta. Táto funkcia má niekoľko vstupných parametrov, ktoré sú potrebné pre vykonanie jednotlivých operácií vo funkcii. Prvým parametrom je *extent*, ktorý vyjadruje rozsah pre raster s náhodnými chybami. Druhým parametrom je *teren*, ktorý predstavuje vstupný digitálny model reliéfu. Parameter *chyby_cesta* vyjadruje cestu, kam sa budú ukladať rastre s náhodnými chybami. Ďalším parametrom je *stok_vody*, ktorý na začiatku obsahuje hodnotu 0, ku ktorej sa počas behu skriptu budú pripočítavať jednotlivé vygenerované odvodňovacie siete a v konečnom výstupe vytvoria rozptýlené dáta. Parametre *min_chyba* a *max_chyba* predstavujú minimálnu a maximálnu hodnotu, medzi ktorými sa budú generovať náhodné chyby aplikované na DMR. Parameter *i* vyjadruje počet opakovaní cyklu, parameter *x* zas vyjadruje prahovú hodnotu pre extrakciu odvodňovacej siete z rastra akumulovaného odtoku. Posledným parametrom je *distribution*, ktorý je jedným z parametrov operácie generujúcej raster s náhodnými číslami.

Cyklus *while* vykonáva požadované operácie pokiaľ je hodnota premennej *i* väčšia ako 0. Hodnota tejto premennej sa znižuje po každom cykle. V tele cyklu sa vykonáva samotné generovanie rozptýlených dát. Prvým krokom je vygenerovanie náhodných chýb podľa zadaného rozsahu chýb. K tomu slúži operácia *arcpy.CreateRandomRaster_management*, ktorá generuje raster obsahujúci náhodné čísla v stanovenom rozsahu. Tento raster sa následne pomocou operácie *Plus* pripočíta k digitálnemu modelu reliéfu. V takomto teréne opravenom o náhodné chyby sa následne pomocou *Fill* vyplnia bezodtokové bunky a vznikne hydrologicky korektný DMR. Tento DMR je taktiež v každom cykle uložený pre prípadné ďalšie potreby. V ďalšom kroku sa vypočíta raster so smermi stoku vody pomocou *FlowDirection*. Výstup tejto operácie je taktiež uložený v každom opakovaní cyklu. Z výstupu tejto operácie sa vypočíta akumulovaný odtok, ktorý je tiež uložený v každom opakovaní cyklu. Z neho sa pomocou *SetNull* vygeneruje odvodňovacia sieť s užívateľom definovanou prahovou hodnotou. Výsledok sa opäť uloží. Vygenerovaná sieť sa pomocou *arcpy.RasterToPolyline_conversion* prekonvertuje na polylínie. Posledným krokom v cykle je pripočítanie aktuálne vygenerovanej odvodňovacej siete k predchádzajúcim. Po ukončení cyklu sa v premennej *stok_vody* nachádzajú rozptýlené dáta stoku vody po teréne, ktoré sa uložia ako výstup.

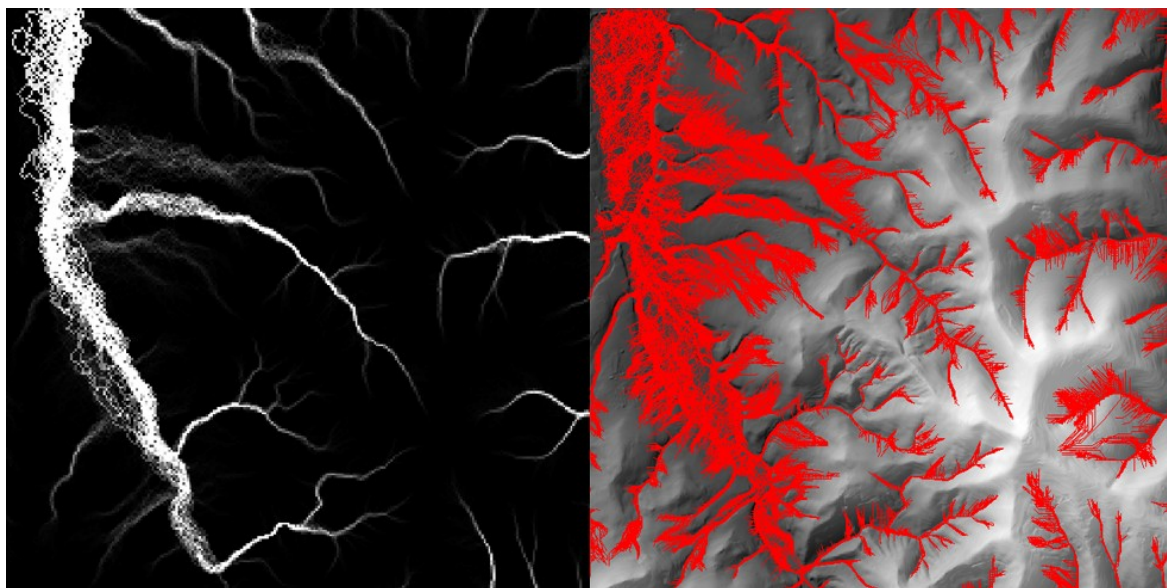
Funkcia main() obsahuje definíciu dátového typu pre terén. Taktiež sa tu definujú vstupné hodnoty a parametre potrebné pre vykonanie funkcie stok(). Okrem definovania vstupov je tu tiež volaná funkcia stok().

Častejšie používanie skriptu však nie je príliš užívateľsky prívetivé. Z toho dôvodu bol zo skriptu vytvorený jednoduchý ArcGIS toolbox. Nástroj má 5 vstupov, ktoré je nutné vyplniť. Prvým je digitálny model reliéfu, nad ktorým sa budú vykonávať analýzy. Ďalšie dva vstupy predstavujú minimálnu a maximálnu chybu. Tie predstavujú krajné hodnoty intervalu, z ktorého sa budú náhodne generovať chyby. Ako ďalšie sa nastaví počet opakovaní cyklu a prahová hodnota pre generovanie odvodňovacej siete.

Nástroj generuje niekoľko výstupov. V každom opakovaní cyklu generuje raster s akumulovaným odtokom, raster so smermi stoku vody, DMR opravený o náhodné chyby, raster s odvodňovacou sieťou a odvodňovaciu sieť vo forme polylínií. Po ukončení cyklu generuje rozptýlené dáta vytvorené z jednotlivých rastrov s odvodňovacou sieťou.



Obrázok 17: Okno nástroja pre generovanie rozptýlených dát



Obrázok 18: Ukážka rozptýlených dát akumulácie odtoku a odvodňovacej siete nad DMR z Floreon+


```

import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
import sys, os

arcpy.CheckOutExtension("spatial")

pathname = os.path.dirname(sys.argv[0])

def stok(extent, teren, chyby_cesta, stok_vody, min_chyba, max_chyba, i, x, distribution):
    while i>0:
        arcpy.CreateRandomRaster_management(chyby_cesta, "chyby", distribution, extent)
        teren_ch = pathname + r"\workspace\chyby"
        teren_opr = Plus(teren, teren_ch)
        teren_opr = Fill(teren_opr)
        teren_opr.save(pathname + r"\vysledok\teren_opr" + str(i))
        smer_stoku = FlowDirection(teren_opr)
        smer_stoku.save(pathname + r"\vysledok\smer_stoku" + str(i))
        stok = FlowAccumulation(smer_stoku)
        stok.save(pathname + r"\vysledok\akum_stok" + str(i))
        stok = SetNull(stok, 1, "Value <= " + str(x))
        stok.save(pathname + r"\vysledok\stok" + str(i))
        arcpy.RasterToPolyline_conversion(stok, pathname + r"\vysledok\stok_poly" + str(i))
        stok_vody = CellStatistics([stok, stok_vody], "SUM", "DATA")
        i = i-1

    stok_vody = SetNull(stok_vody, stok_vody, "Value = 0")
    stok_vody.save(pathname + r"\vysledok\stok_vody")

def main():
    teren = Raster
    teren_ch = Raster

    teren = sys.argv[1]
    chyby_cesta = pathname + r"\workspace"
    stok_vody = 0
    min_chyba = str(sys.argv[2])
    max_chyba = str(sys.argv[3])
    i = int(sys.argv[4])
    x = str(sys.argv[5])

    extent = teren
    arcpy.env.overwriteOutput = True

    distribution = "UNIFORM " + min_chyba + " " + max_chyba

    stok(extent, teren, chyby_cesta, stok_vody, min_chyba, max_chyba, i, x, distribution)

if __name__ == "__main__":
    main()

```

Obrázok 19: Skript slúžiaci na generovanie rozptýlených dát

3.2.3 Analýza rozptýlených dát

Pomocou uvedeného nástroja boli vygenerované rozptýlené dáta, pri ktorých bola spracovaná neurčitosť. Neurčitosť, ktorá sa týka výškov v DMR, má však rôzny vplyv na výsledné línie stoku vody. Záleží na lokalite a teréne, cez ktorý línie prechádzajú. Na niektorých miestach môže aj malá zmena výšky spôsobiť to, že línia stoku vody bude mať veľmi odlišnú trasu po teréne. Naopak na niektorých miestach nemusia ani veľké zmeny spôsobiť výrazné rozdiely v jednotlivých líniiach [8]. Z obrázku 23 je možné vidieť správanie sa rozptýlených línii v rôznych typoch územia. V hornatom území nie je rozptyl

jednotlivých líní tak výrazný a línie dodržia určitý trend. Naopak na území, kde sa terén vyrovnáva, sú línie rozptýlené po celom území. Z toho jasne vyplýva problém, ktorý môže nastať pri extrakcii línie. V prípade hornatého územia by extrakcia nemala byť tak zložitá, pretože línie sa od seba výraznejšie nelíšia. Problematická bude extrakcia v rovinnom území, kde nie je možné sledovať žiaden trend v stoku vody. Z tohto dôvodu boli pre testovanie vytvorených postupov zvolené práve časti územia, kde sa nachádzajú oba typy terénu.

Ako prvá bola vygenerovaná sada dát, nad ktorými sa testovali rôzne funkcie a operácie, ktoré by mohli viesť k extrakcii línie stoku vody. Po navrhnutí postupov pre extrakciu boli vygenerované ďalšie sady dát s rôznymi vstupnými parametrami. Tieto sady dát boli vytvorené za účelom testovania funkčnosti postupov pri rôznych podmienkach. Ku generovaniu rôznych dát boli použité dva typy DMR, dva intervaly náhodných chýb v nadmorskej výške a taktiež rôzny počet opakovaní. Použité DMR už boli spomenuté v kapitole 2.2. Ide konkrétne o DMR z projektu Floreon+ a z DMÚ 25. Pre náhodné chyby bol použitý interval od -2 do 2 m a od -10 do 10 m. Veľkosť náhodných chýb nebola odvodená od aktuálnej presnosti oboch DMR. Chyby boli takto zvolené z dôvodu otestovania použiteľnosti navrhnutých postupov v rôznych podmienkach. Pre generovanie bolo použité 30 a 100 opakovaní cyklu. Parametre boli zvolené tak, aby bolo možné otestovať postupy nad dátami s menšou chybou ako aj nad dátami s chybou väčšou.

Pre prípadné ďalšie využitie nástroja pre generovanie rozptýlených dát napríklad pre riešenie reálnych praktických úloh je potrebné dopredu zvážiť zadávanie vstupných parametrov ako je veľkosť chyby a počet opakovaní. V prípade vyššieho počtu opakovaní môže proces výpočtu a generovania dát zabráť aj niekoľko hodín. Je teda vhodné si otestovať správnosť vstupných parametrov pri menšom počte opakovaní a prípadne ich pred finálnym experimentom zmeniť aby nedochádzalo k zbytočnému plytvaniu času na generovanie dát, ktoré nebudú pre danú úlohu použiteľné.

Rozptýlené dáta akumulovaného odtoku

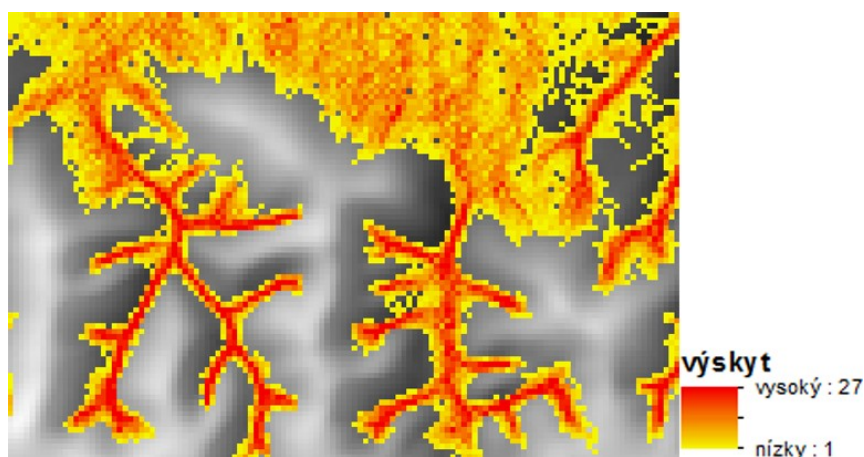
Pre vznik rozptýlených dát akumulovaného odtoku je potrebné sčítat jednotlivé rastre akumulovaného odtoku, ktoré vznikli v každom kroku cyklu vytvoreného nástroja. K vytvoreniu takýchto dát bola použitá funkcia *Cell Statistics*, ktorá je popísaná v kapitole 4.2.2. Táto funkcia umožňuje vypočítavať štatistické operácie nad vstupnými rastrami. Ako parameter predstavujúci štatistickú operáciu bola zvolená suma. Na obrázku 20 je zobrazený výsledok tejto operácie. Do každej bunky výsledného rastra je zapísaná hodnota súčtu všetkých akumulovaných odtokov v danom mieste.



Obrázok 20: Rozptýlené dáta akumulovaného odtoku

Rozptýlené dáta odvodňovacej siete

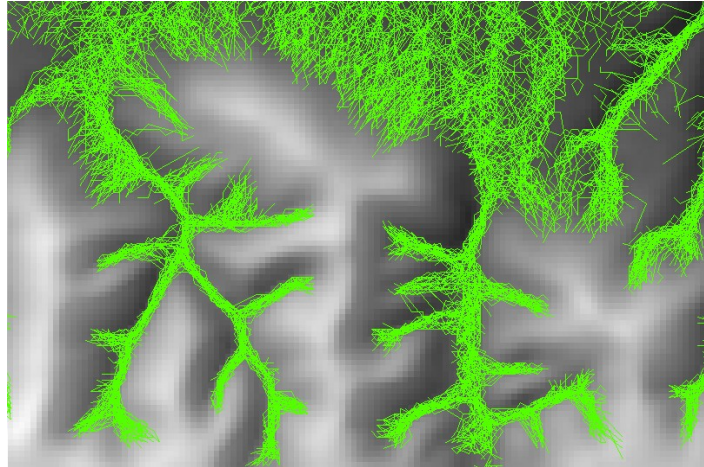
Ďalším typom rozptýlených dát, ktoré je možné vytvoriť sú dáta odvodňovacej siete. Tieto dáta však môžu byť vytvorené v rastrovej aj vo vektorovej podobe keďže nástroj generuje v každom cykle raster s odvodňovacou sieťou a následne ho konvertuje do vektorovej podoby. Rastrové rozptýlené dáta sú vytvorené rovnakým spôsobom ako v predchádzajúcom prípade. Pre sčítanie dát sa využije funkcia *Cell Statistics*.



Obrázok 21: Rozptýlené dáta odvodňovacej siete v rastrovej podobe

Výsledok operácie je zobrazený na obrázku 21. Hodnoty v bunkách rastru predstavujú počet výskytov odvodňovacej siete v danom mieste. Teda hodnota v bunke napríklad 20 znamená, že daným miestom prechádzala odvodňovacia sieť v 20 prípadoch zo všetkých.

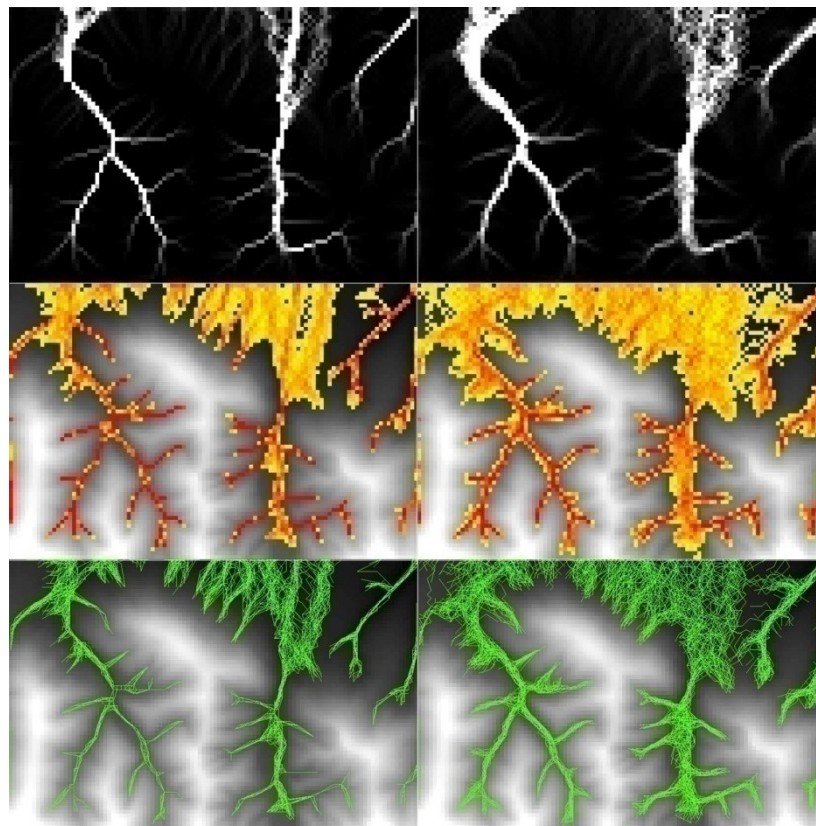
V prípade vektorovej podoby stačí jednoducho zlúčiť jednotlivé línie dokopy, čím získame rozptýlené dáta. Zlúčenie je možné vykonať funkciou *Merge*.



Obrázok 22: Rozptýlené dáta odvodňovacej siete vo vektorovej podobe

Dáta vygenerované nad DMR z DMÚ 25

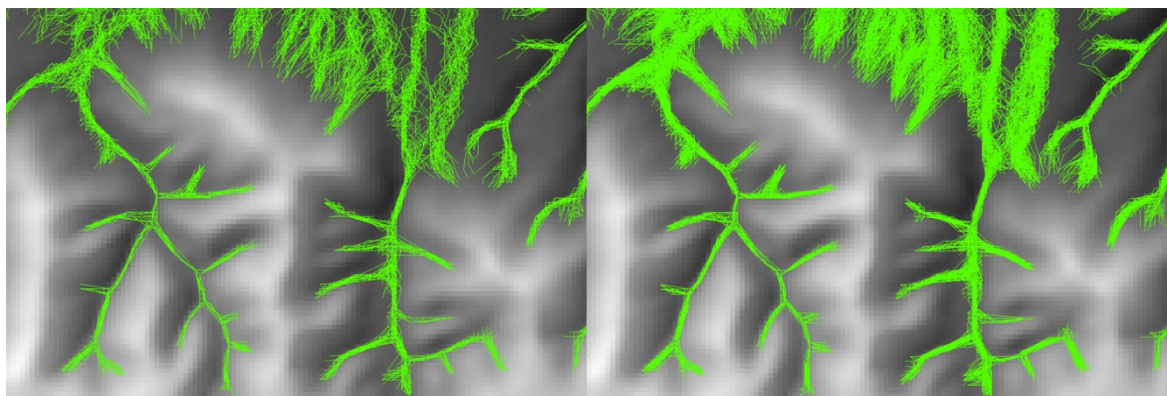
Nad týmto DMR bola vygenerovaná prvá sada rozptýlených dát, ktorá bola použitá pre testovanie funkcií a vytvorenie postupov pre extrakciu línie. Tieto dáta boli vytvorené v 30 opakovaníach cyklu s náhodnými chybami v rozmedzí -10 až 10 m. Po navrhnutí použiteľných postupov boli pre dodatočné testovanie funkčnosti vygenerované ďalšie sady rozptýlených dát nad týmto DMR. Pri všetkých kombináciách počtu opakovaní a intervalov náhodných chýb vznikli pre toto DMR 4 sady rozptýlených dát.



Obrázok 23: Ukážka výstupov pre chybu 2 (ľavá strana) a 10 m (pravá strana) pri 30 opakovaníach

Na obrázku 23 je vidieť rozdiel v rastroch akumulovaného odtoku a vo vygenerovanej odvodňovacej sieti pre zavedenú náhodnú chybu ± 2 m (ľavý stĺpec) a chybu ± 10 m (pravý stĺpec). Je vidieť, že línie nie sú pri chybe 2 m tak rozptýlené ako v prípade chyby 10 m. Práve z toho dôvodu boli tieto dáta generované. Aby bolo možné otestovať vytvorené postupy pre extrakciu z dát s menším rozptylom ako aj pre extrakciu z dát s rozptylom väčším a overiť tak funkčnosť postupov nie len pre jeden prípad.

Okrem veľkosti zavedenej chyby boli generované výstupy aj v rôznom počte opakovaní. Konkrétne šlo o cyklus s 30 a 100 opakovaniami. Dáta zobrazené na obrázku 23 boli vytvorené po 30 opakovaníach procesu analýzy stoku vody. Dáta, ktoré vznikli pri 100 opakovaníach cyklu, sú podobné tým uvedeným na obrázku 23. Preto nemá zmysel opäť ukazovať všetky výstupy. Rozdiel medzi dátami je možné vidieť na obrázku 24. Ide o dáta vytvorené v 30 (ľavá strana) a 100 (pravá strana) opakovaníach s chybou ± 2 m.

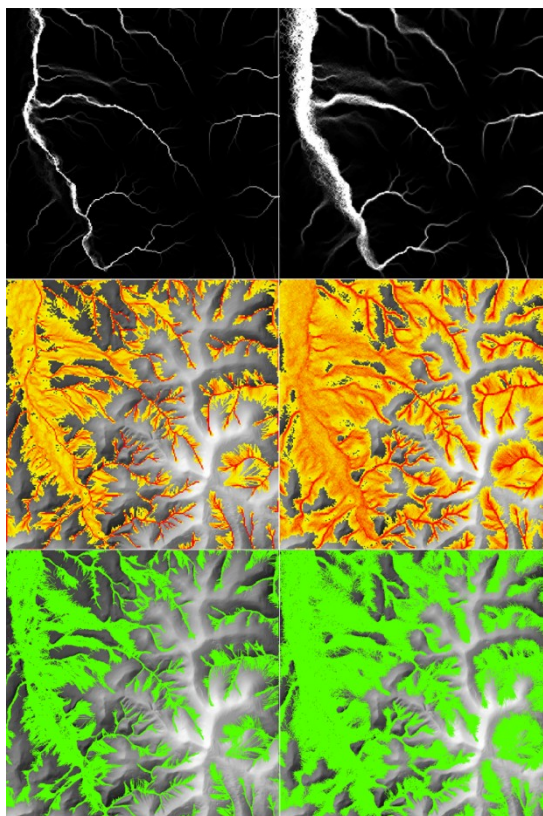


Obrázok 24: Porovnanie odvodňovacej siete vygenerovanej pri 30 a 100 opakovaníach

Dáta vygenerované nad DMR z projektu Floreon+

Ďalšia sada rozptýlených dát bola vygenerovaná nad digitálnym modelom reliéfu z projektu Floreon+. Generovanie dát nad týmto DMR prebiehalo rovnako ako v predchádzajúcom prípade. Boli teda vytvorené 4 sady dát. Dve vznikli v 30 opakovaníach a dve v 100 opakovaníach. Prvou z dvoch sád bola sada s náhodnou chybou ± 2 m. Druhá sada vznikla s chybou ± 10 m.

Dôvodom pre použitie ďalšieho DMR pre testovanie bolo otestovanie navrhnutých postupov aj nad iným terénom, ktorý pochádza z odlišného DMR. Tým bola otestovaná všeobecná použiteľnosť postupov. Bolo overené, či postupy nefungujú len v jednom konkrétnom prípade.



Obrázok 25: Ukážka výstupov pre chybu 2 (ľavá strana) a 10 (pravá strana) m pri 100 opakovaníach

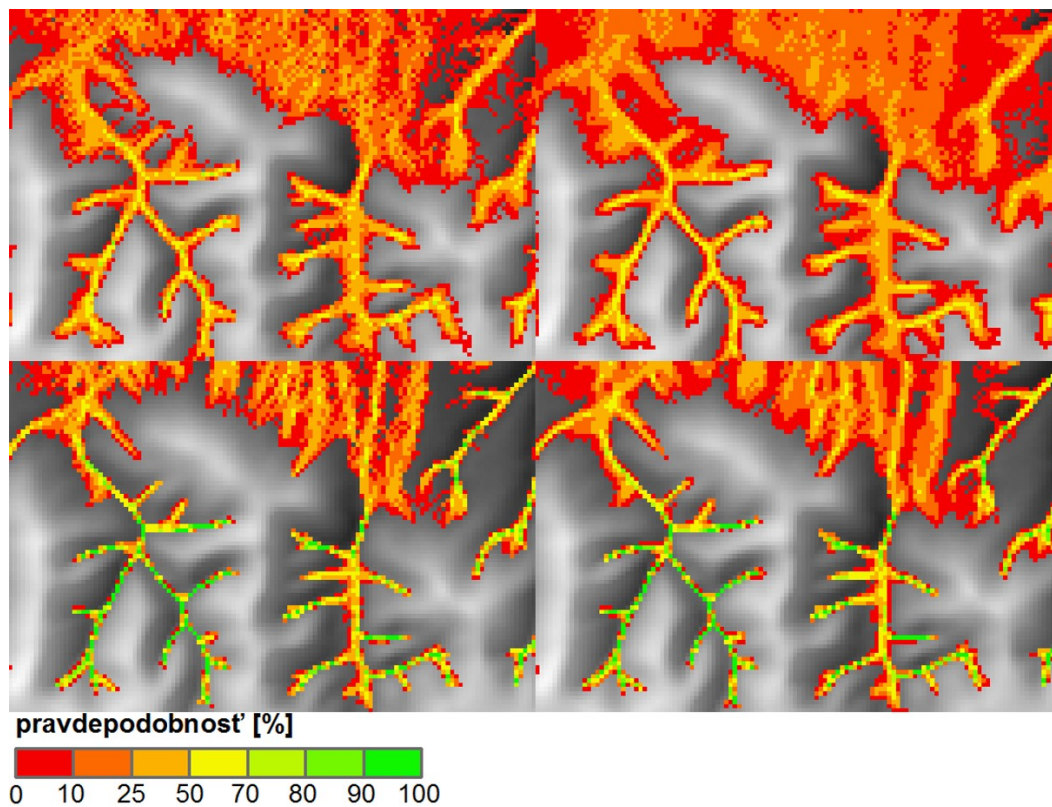
Pravdepodobnosť výskytu stoku vody

Z výstupu metódy Monte Carlo, konkrétne z rozptýlených dát odvodňovacej siete v rastrovej podobe, je možné určiť pravdepodobnosť, s akou sa v danom mieste môže vyskytnúť výsledná odvodňovacia sieť. Táto pravdepodobnosť je určená na základe počtu výskytov jednotlivých odvodňovacích sietí zo vstupných dát a na počte opakovaní, v ktorom boli dáta vygenerované.

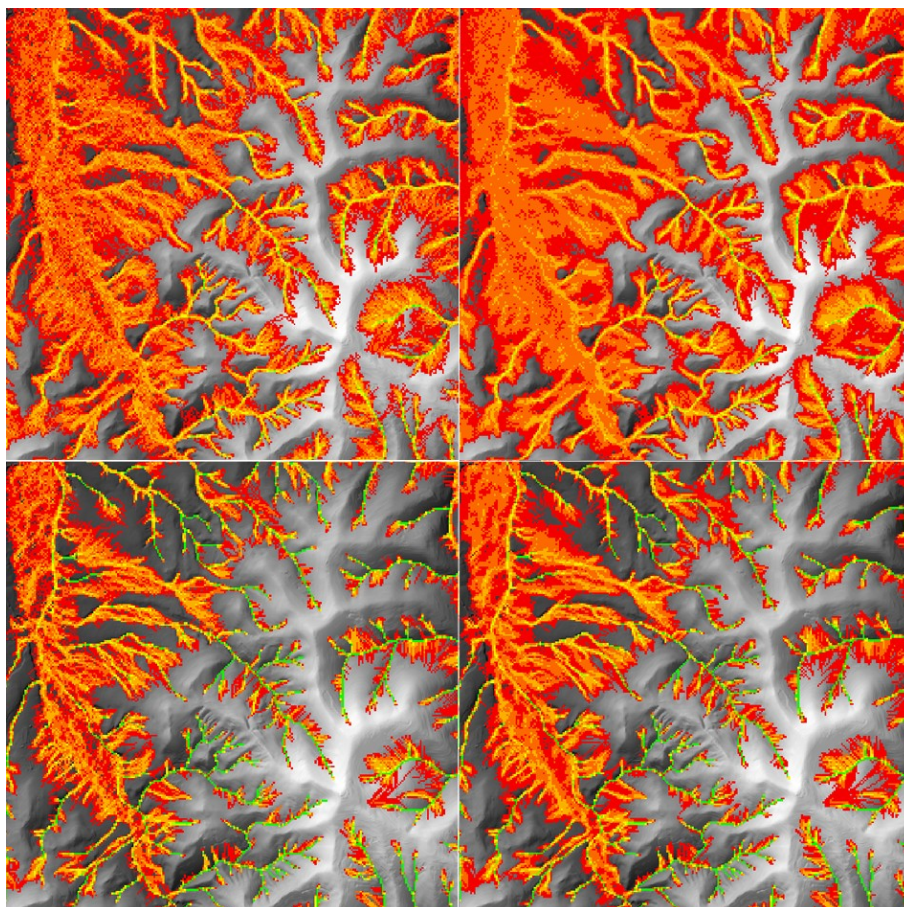
$$\text{pravdepodobnosť} = \text{počet výskytov} / \text{počet opakovaní}$$

Na základe tejto pravdepodobnosti je možné predpokladať, kde sa výsledná extrahovaná línia stoku vody bude nachádzať. Taktiež je možné odhadnúť pre jednotlivé vygenerované sady dát, ako kvalitne bude možné v jednotlivých oblastiach výslednú líniu získať.

Z obrázkov je vidieť, že pre oba digitálne modely reliéfu je najvyššia pravdepodobnosť výskytu výslednej línie v údoliach v hornatých oblastiach. Tento fakt sa prejavuje výraznejšie pri dátach vytvorených s chybou +/- 2 m, kde sa vyskytujú miesta aj so 100 % istotou výskytu výslednej línie. Na obrázkoch sú zobrazené vypočítané pravdepodobnosti pre vygenerované dáta v 30 opakovaníach s chybou 10 m (ľavá horná časť), v 100 opakovaníach s chybou 10 m (pravá horná časť), v 30 opakovaníach s chybou 2 m (ľavá dolná časť) a v 100 opakovaníach s chybou 2 m (pravá dolná časť). Legenda zobrazená na obrázku 26 platí taktiež pre obrázok 27.



Obrázok 26: Pravdepodobnosť výskytu stoku vody v záujmovej oblasti pre DMR z DMÚ 25



Obrázok 27: Pravdepodobnosť výskytu stoku vody v záujmovej oblasti pre DMR z Floreon+

4 EXTRAKCIA LÍNIE STOKU VODY Z ROZPTÝLENÝCH DÁT

Použitie rozptýlených dát, či už akumulovaného odtoku alebo odvodňovacej siete, je limitované. Dáta v takejto forme síce nie sú nesprávne, ale ich použitie napríklad pre ďalšie analýzy je nevhodné. Takéto dáta môžu slúžiť pre podporu rozhodovania, kde ukážu, ako sa môžu výsledky analýz líšiť v prípade, že sa berie do úvahy aj neurčitost' v dátach. Dodatočné vytvorenie takýchto rozptýlených dát by mohlo dokonca prispieť k zmene rozhodnutia, ktoré bolo dosiahnuté na základe výsledkov analýz vykonaných bez spracovania neurčitosti. V takom prípade by však vplyv spracovanej neurčitosti musel byť analyzovaný a zhodnotený. K tomu slúži analýza šírenia chýb (error propagation analysis). Pomocou tejto analýzy je možné kvantifikovať neurčitosti vo výsledkoch GIS analýz. Úlohou diplomovej práce však nie je neurčitost' kvantifikovať. Úlohou je zohľadniť jej prítomnosť v DMR, vygenerovať rozptýlené dáta s využitím metódy Monte Carlo a následne z nich extrahovať dáta predstavujúce línie stoku vody po teréne, pri ktorého tvorbe bola neurčitost' zohľadnená.

K extrakcii línií z rozptýlených dát neexistuje žiadny presne stanovený postup. Z toho dôvodu nie je možné túto procedúru vykonať použitím nejakej funkcie vytvorenej práve pre tento účel. Tým vzniká potreba pre vytvorenie postupu alebo postupov, pomocou ktorých bude uvedený proces uskutočniteľný. Keďže programy neobsahujú žiadne funkcie priamo umožňujúce extrakciu, je takmer isté, že vytvorené postupy nebudú pozostávať z jedného kroku ale pôjde o rôzne kombinácie funkcií vedúce k požadovanému výsledku. Pred tým ako budú môcť byť samotné postupy vytvorené, je potrebné vykonať niekoľko krokov. Je nutné zvoliť softwarové produkty a analyzovať ich možnosti. Ďalším krokom je vytipovanie funkcií, ktoré by mohli viesť k extrakcii. Tieto funkcie predstavujú potenciálne súčasti tvorených postupov. Vytvorené postupy je následne potrebné otestovať a zhodnotiť ich funkčnosť a použiteľnosť.

4.1 Voľba dát pre extrakciu

Ešte pred analýzou možností softwaru a vytipovaním funkcií je potrebné zvoliť dáta, z ktorých bude extrakcia prebiehať. Výstupom metódy Monte Carlo použitej v nástroji pre generovanie rozptýlených dát je raster s odvodňovacou sieťou. Pre extrakciu sa však netreba obmedziť iba na spomenutý výstup. Vytvorený nástroj poskytuje ďalšie výstupy ako raster s akumulovaným odtokom alebo raster so smermi stoku vody. Každý z týchto výstupov môže byť teoreticky použitý k extrakcii línie stoku vody, pretože sú vytvorené z DMR upraveného o náhodné chyby. Je v nich teda zohľadnená neurčitost', ktorá sa z DMR preniesla do týchto výstupov počas generovania rozptýlenej odtokovej siete. Z dôvodov možného využitia medzivýsledkov vytvorený nástroj ukladá každý z týchto výstupov v každom opakovaní cyklu.

Okrem spomínaných troch výstupov, ktoré sú v rastrovej podobe je treba zvážiť taktiež konverziu do vektorovej podoby. To je však možné len pre raster s odvodňovacou sieťou. Týmto krokom sa naskytnú nové možnosti pre extrakciu dát. Pre prácu

s vektorovými dátami poskytujú jednotlivé programy odlišné sady funkcií, ktoré je taktiež nutné analyzovať pre ich prípadné použitie.

Pri skúmaní možností softwarových produktov a analyzovaní použiteľných funkcií je teda na mieste brať do úvahy aj ďalšie spomínané výstupy. Teda aj keď niektoré z funkcií nebudú môcť byť použité pre extrakciu z odvodňovacej siete, netreba ich automaticky zavrhnúť ale overiť ich použiteľnosť pre niektorý z ďalších výstupov. Pri riešení diplomovej práce boli pre možnosti extrakcie testované všetky spomínané výstupy:

- raster obsahujúci smery odtoku vody po teréne
- raster obsahujúci akumulovaný odtok
- raster obsahujúci odvodňovaciu sieť
- odvodňovacia sieť vo forme polylínií

4.2 Analýza a testovanie použiteľnosti funkcií

Prvým krokom po zhodnotení použiteľnosti jednotlivých výstupov nástroja pre generovanie rozptýlených dát bola analýza funkcií, ktoré ponúkajú zvolené softwarové nástroje. Ako už bolo spomenuté v kapitole 2.1, pre analýzu bol použitý ArcGIS 10 a GRASS GIS. Samotný proces analýzy funkcií spočíval v študovaní funkcií, ktoré tieto nástroje ponúkajú. Keďže ide o zložité a rozsiahle programy, bol proces analýzy časovo náročný. Pre analýzu je najlepšie vychádzať z oficiálnych stránok jednotlivých programov. Dôvodom je to, že tieto stránky sú tvorené samotnými autormi programov a je teda možné predpokladať, že obsahujú najlepší a najdetailnejší popis jednotlivých funkcií. Práve detailný popis funkcií a vysvetlenie princípu ich fungovania môže rozhodnúť o tom, či sa daná funkcia hodí alebo nehodí pre naše potreby. Problémom je však to, že od jednotlivých funkcií nemôžeme očakávať takú funkcionálnosť, ktorá umožní extrakciu línií „jedným kliknutím“. Pri každej analyzovanej funkcii je treba brať tento fakt do úvahy a je potrebné sa na ňu dívať ako na súčasť postupu pozostávajúceho z viacerých krokov a kombinácií rôznych funkcií. Je možné, že sa k niektorým už zavrhnutým funkciám späťne vrátíme pri objavení ďalšej, v kombinácii s ktorou by mohla fungovať.

4.2.1 Kritériá pre výber funkcií

Výber funkcií podliehal určitým stanoveným kritériám. Tieto kritériá sa líšia v prípade použitia vstupných dát s rastrovým alebo vektorovým dátovým typom. Hlavným kritériom, ktoré platí pre všetky použité vstupné dáta, je získať z veľkého počtu podobných avšak nerovnakých, variantov stoku vody jeden, ktorý bude predstavovať najpravdepodobnejší variant. Ďalším kritériom, ktoré nie je závislé na vstupných dátach, je dodržanie spojitosti výsledného stoku vody.

Kritériá pre rastrové vstupné dáta

V prípade využitia jedného z rastrových výstupov nástroja pre generovanie rozptýlených dát boli stanovené niekoľké kritériá, ktoré by mali funkcie spĺňať. Prednostne boli vyhľadávané funkcie umožňujúce napríklad:

- znižovanie počtu hodnôt v rastri
- stenčovanie línií
- extrakciu hodnôt podľa zadanej podmienky
- zníženie rozptylu buniek predstavujúcich stok vody
- určenie početnosti výskytu buniek
- výber najčastejšie sa vyskytujúcich buniek

Zvolené kritériá závisia okrem zvoleného dátového typu vstupov taktiež od konkrétneho vstupu. Je zrejmé, že kritériá pre funkcie slúžiace pre extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát o smeroch stoku vody sa budú líšiť od kritérií pre extrakciu z dát o akumulovanom odtoku.

Kritériá pre vektorové vstupné dáta

Nástroj pre generovanie rozptýlených dát poskytuje, na rozdiel od rastrových dát, iba jeden typ dát vo vektorovej podobe. Tým je konkrétne raster odvodňovacej siete konvertovaný do vektorovej podoby. Na funkcie pre spracovanie vektorových dát boli kladené odlišné kritériá:

- zjednodušenie tvaru línií
- zachovanie spojitosti línií
- určenie hustoty línií

Nie je povinné vytvoriť postupy, ktoré budú pracovať buď iba s rastrovými alebo vektorovými dátami. Môžu sa vyskytnúť prípady, kedy vznikne po niekoľkých krokoch práce s rastrovými dátami potreba použiť funkciu, ktorá neumožňuje prácu s rastrom. Je teda potrebné dáta konvertovať do vektorovej podoby. Dá sa predpokladať, že väčšina vytvorených postupov bude pozostávať z kombinácie rastrových a vektorových dát, pretože práve funkcia pre prácu s iným dátovým typom môže poskytovať potrebnú funkcionálnosť.

4.2.2 Testované funkcie

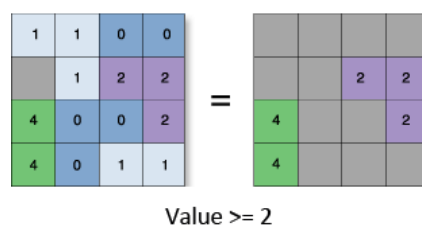
Výsledkom analýzy funkcií a možností programov bol zoznam funkcií, ktoré by mohli určitým spôsobom prispieť k extrakcii línie stoku vody z rozptýlených dát. Takto vytvorený zúžený zoznam funkcií bol následne testovaný. Testovaním sa overila použiteľnosť funkcií pre extrakciu línií. Hlavným faktorom, ktorý bol overovaný, bola použiteľnosť výstupov jednotlivých funkcií ako súčastí vytváraných postupov. Bolo potrebné overiť, či funkcie neposkytujú odrazový mostík pre ďalšie funkcie, ktoré by v konečnom dôsledku viedli k extrakcii línie stoku vody. Taktiež sa overovalo to, či

funkcie nemôžu slúžiť ako finálna operácia, ktorej výstupom bude extrahovaná odvodňovacia sieť. Samotné testovanie v niektorých prípadoch viedlo k objaveniu nových funkcií, ktoré neboli objavené pri prvotnej analýze.

Vytvorený zoznam funkcií pozostával z niekoľkých funkcií programu ArcGIS a len jednej funkcie programu GRASS GIS. Jednotlivé funkcie a ich použiteľnosť sú zobrazené v tabuľke 2. Pre ArcGIS bolo vytipovaných 12 funkcií. Medzi nimi sa nachádzali funkcie pre prácu s rastrovými aj vektorovými vrstvami.

Extract By Attributes

Táto funkcia patrí do skupiny nástrojov pre extrakciu (Extraction tools). K jej používaniu je potrebné mať licenciu na Spatial Analyst. Funkcia pracuje s rastrovými vrstvami. Jej hlavnou úlohou je extrahovať bunky vstupného rastu do výstupného na základe užívateľom definovanej podmienky. Funkcia teoreticky poskytuje určitú funkcionálnu pre extrakciu línie stoku vody. Pri vhodne zvolenej podmienke je táto funkcia schopná extrahovať bunky, ktoré by mohli predstavovať časť požadovaného výsledku. Použitie funkcie a jej výstupy budú bližšie opísané v kapitole 4.3, pretože funkcia tvorí základnú časť jedného z vytvorených postupov [23].



Obrázok 28: Princíp funkcie Extract By Attributes [23]

Buffer

V prípade tejto funkcie nemusí byť na prvý pohľad jasné jej využitie pre extrakciu línie stoku vody. Keďže je funkcia využitá v jednom z vytvorených postupov, bude jej konkrétne použitie opísané neskôr. Funkcia pracuje s vektorovými vrstvami a jej hlavnou úlohou je vytvorenie bufferu okolo zvolených prvkov v stanovenej vzdialenosti. Vstupom pre funkciu môžu byť body, línie aj polygóny. Buffer sa vytvára pre každý prvok samostatne. V prípade, že sú jednotlivé prvky blízko seba, môže dôjsť k prekrytiu polygónov predstavujúcich buffer. Preto nástroj obsahuje možnosť zlúčenia takýchto prekryvajúcich sa polygónov [18].



Obrázok 29: Príklad bufferu vytvoreného okolo bodov, líni a polygónov [18]

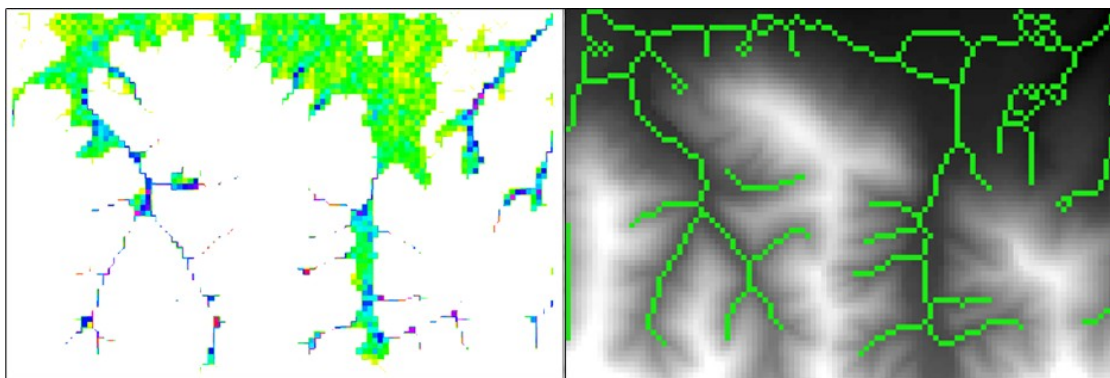
Funkcia vyžaduje dva povinné vstupy. Jedným je vstupná vrstva, okolo ktorej bude buffer vytvorený. Druhým je vzdialenosť, do ktorej bude buffer vytvorený. Ďalej však obsahuje ďalšie tri nepovinné vstupy. Jedným je už spomínaná možnosť zlúčenia prekrývajúcich polygónov. Ďalším nepovinným vstupom je typ zakončenia bufferu (okružly alebo plochý). Posledným vstupom je možnosť voľby strany, na ktorej sa buffer vytvorí. Je teda možné ho vytvoriť okolo celého prvku, na ľavej alebo pravej strane (nie je možné pre polygóny), alebo iba na vonkajšej strane (možné iba pre polygóny) [18].

Thin

Táto funkcia patrí do skupiny nástrojov pre generalizáciu. Služi pre prácu s rastrovými vrstvami. Pre jej používanie je nutná licencia na Spatial Analyst. Funkcia umožňuje stenčovanie rastrových línií. Pri tomto procese dochádza k redukcii počtu buniek predstavujúcich hrúbku línie [45]. Už podľa definície je zrejmé využitie tejto funkcie pri extrakcii línie. To bude spolu s výstupmi popísané podobne ako predchádzajúce funkcie pri príslušnom vytvorení postupe.

Funkcia má niekoľko vstupných parametrov. Prvým a jediným povinným je vstupný raster. Okrem toho je možné nastaviť hodnotu pozadia, maximálnu hrúbku línie, tvar rohov alebo či sa má vykonať filtrácia v prvej fáze stenčovania [45].

Táto funkcia sa nachádza taktiež v GRASS GIS pod názvom *r.thin*. Má takú istú úlohu ako verzia pre ArcGIS. Má však odlišné parametre. Okrem vstupného rastu sa nastavuje iba počet iterácií, v ktorých bude prebiehať stenčovanie [40] .



Obrázok 30: Rozdiel vo výstupoch funkcie *Thin* v GRASS GIS (ľavý obrázok) a ArcGIS (pravý obrázok)

Z obrázku 30 je vidieť výrazný rozdiel vo výstupoch funkcie pre GRASS GIS a ArcGIS. Funkcia *Thin* je zastúpená v takmer všetkých vytvorených postupoch a tvorí finálnu operáciu pre získanie extrahovanej línie stoku vody z rozptýlených dát. Jedná sa o funkciu z ArcGIS, ktorá je použitá pre jej lepšie výstupy. Z tohto dôvodu neboli vytvorené postupy zahŕňajúce túto funkciu testované v GRASS GIS. A to aj v prípade, že GRASS obsahoval ďalšie funkcie použité v danom postupe.

Cell Statistics

Podobne ako v prípade funkcie *Buffer*, ani tu nemusí byť hneď jasné využitie *Cell Statistics* pre extrakciu línie stoku vody. Táto funkcia však zohráva dôležitú úlohu

v jednom z vytvorených postupov. Licencia na Spatial Analyst je opäť nutnosťou. Hlavnou úlohou je výpočet zvolenej štatistickej operácie nad vstupnými rastrami. Výpočet prebieha pre každú polohu bunky zo všetkých vstupných rastrov. Štatistických operácií, ktoré je možné vykonávať, je niekoľko. Je možné určovať napríklad maximálnu, minimálnu hodnotu zo vstupov, najpočetnejšiu hodnotu, priemernú hodnotu alebo súčet hodnôt. Okrem spomenutých je možné zvoliť niekoľko ďalších operácií. Funkcia ponúka tri vstupné parametre. Prvý parameter predstavuje vstupné rastrové vrstvy. Ďalšie dva sú nepovinné a predstavujú výber štatistickej operácie a voľbu, či budú bunky s hodnotou NoData ignorované pri výpočte alebo nie [20].

Kernel Density

Táto funkcia je dôležitou súčasťou jedného z vytvorených postupov. *Kernel Density* umožňuje určiť hustotu sledovaných prvkov v okolí týchto prvkov. Funkcia je schopná vypočítať hustotu bodov a línií.

Základný princíp fungovania funkcie spočíva vo vytvorení plynule zakrivenej plochy okolo každého prvku. Najvyššiu hodnotu má plocha v mieste prvku. So zväčšujúcou sa vzdialenosťou sa hodnota znižuje až kým nedosiahne nulu vo vzdialenosti špecifikovanej ako polomer hľadania (search radius). Výsledná hustota je vypočítaná sčítaním hodnôt všetkých takto vytvorených povrchov v miestach, kde prekrývajú stredy buniek rastru. Do výpočtu hustoty sú zaradené iba body alebo línie, ktoré spadajú do susedstva bunky. Ak susedstvo neobsahuje žiadne prvky, bunke je priradená hodnota NoData [31] [36].

Okrem vstupnej vrstvy obsahujúcej prvky, pre ktoré sa má určiť hustota, obsahuje funkcia niekoľko ďalších parametrov. Prvým je *population field*, ktorý predstavuje pole populačných hodnôt pre každý prvok. Ide o počet alebo kvantitu, ktorá bude rozšírená po teréne, čím vytvorí spojitý povrch. Ďalším parametrom je veľkosť bunky výstupného rastru. Okrem týchto parametrov je možné nastaviť už spomínaný polomer hľadania. Od veľkosti zadaného polomeru závisí detailnosť výstupu. Čím väčšia hodnota, tým vyhladenejší výstup a naopak čím menšia hodnota, tým väčší detail [36].

Reclassify

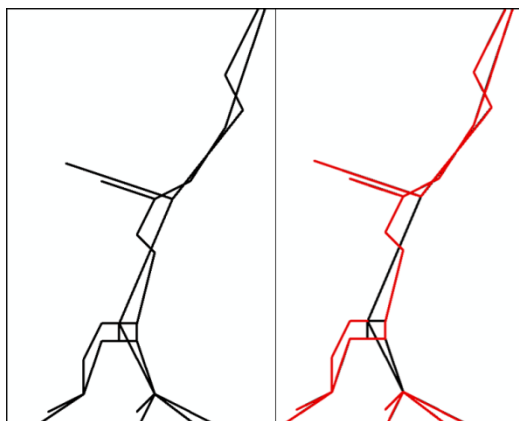
Posledným použiteľným z vytipovaných nástrojov je *Reclassify*. Pre potreby extrakcie línie stoku vody z rozptýlených dát poskytuje veľmi podobnú funkcionality ako funkcia *Extract By Attributes*. Nástroj umožňuje zmeniť hodnoty v rastru. Jednotlivé hodnoty rastra je možné klasifikovať do kategórií, pre ktoré je možné následne zmeniť hodnotu. Nie je však podmienkou rozdeliť hodnoty rastra do kategórií. Funkcia umožňuje zmeniť každú hodnotu rastru osobitne. Pri vhodnej klasifikácii hodnôt rastra je možné dostať, podobne ako pri *Extract By Attributes*, výsledok, ktorý aspoň z časti zodpovedá požadovanej výslednej línii stoku vody [41].

Funkcia umožňuje určiť, ktoré hodnoty budú reklasifikované. Ďalej obsahuje okno, v ktorom je možné pridelovať nové hodnoty a staré hodnoty klasifikovať do kategórií. Na koniec umožňuje nastaviť, či hodnotám, ktoré nie sú reklasifikované, priradiť hodnotu NoData alebo ponechať pôvodnú.

Collapse Dual Lines To Centerline

Táto funkcia umožňuje vytvárať stredovú líniu medzi zdvojenými líniovými prvkami. Stredová línia je generovaná na základe stanovených tolerancií. Už samotný popis funkcie v nápovede naznačoval, že funkcia pravdepodobne nebude využiteľná pre potreby extrakcie línie z rozptýlených dát. V nápovede stojí, že nástroj slúži pre pravidelné a takmer paralelné línie. Stredové línie je možné vytvoriť len medzi líniami s otvoreným koncom. Je jasné, že medzi jednotlivými vygenerovanými líniami stoku sa s najväčšou pravdepodobnosťou takéto pravidelné a paralelné línie nebudú vyskytovať [21].

Aj napriek nepriaznivej charakteristike bol nástroj otestovaný na dvoch náhodne vybraných líniiach stoku vody. Línie vo vektorovej podobe bolo pred použitím funkcie potrebné zlúčiť do jednej vrstvy. Bolo taktiež potrebné nastaviť maximálnu šírku duálnych línii, pre ktoré sa bude určovať stredová línia. Výsledok funkcie je zobrazený na obrázku 31. Ľavá strana obrázku predstavuje dve zlúčené línie stoku vody. Na pravej strane je vidieť výsledok funkcie, ktorý predstavuje červená línia. Je vidieť, že na niektorých úsekoch bola operácia úspešná. To však pre celkové využitie funkcie nestačí. Ďalej preto nebola použitá.



Obrázok 31: Výsledok testu funkcie *Collapse Dual Lines To Centerline*

Merge Divided Roads

V nápovede k predchádzajúcej funkcii bolo uvedené, že pre zjednodušenie viacerých línii, ktoré sa môžu krížiť a spájať, je určená funkcia *Merge Divided Roads*. Táto funkcia umožňuje zlúčiť spárované cesty alebo pruhy ak patria do tej istej triedy, sú vzájomne paralelné a nachádzajú sa v definovanej vzdialenosti. Keďže línie musia byť opäť paralelné, nie je možné nástroj použiť pre potreby diplomovej práce [37].

Thin Road Network

Táto funkcia umožňuje vygenerovať zjednodušenú cestnú sieť, ktorá si však zachováva svoje charakteristiky a spojitosť. Funkcia sa využíva hlavne pre umožnenie zobrazenia cestnej siete aj v menších mierkach. Odlišnosťou tejto funkcie je to, že nevytvára žiadny nový výstup ani neupravuje alebo neodstraňuje geometriu prvkov. Namiesto toho sa v zdrojovej vrstve špecifikuje takzvaný *invisible field*. Do tohto poľa sú pridelené hodnoty, ktoré identifikujú prvky, ktoré sú navyše a môžu byť zo zobrazenia

odstránené. Keďže táto funkcia slúži len pre zjednodušenie zobrazenia dát v menších mierkach, nevyhovuje teda predpokladom pre extrakciu línie z rozptýlených dát a nebola použitá [46].

Create Random Points

Funkcia umožňuje vytvoriť sadu náhodne rozmiestnených bodov. Body je možné generovať v rámci celého rozsahu okna, ale aj v polygónoch, na bodoch a tiež líniách. Je možné nastaviť počet generovaných bodov a tiež minimálnu povolenú vzdialenosť medzi jednotlivými bodmi. Myšlienka využitia tejto funkcie spočívala vo vytvorení určitého počtu bodov nad rozptýlenými dátami tak, aby približne reprezentovali možný tvar výslednej línie stoku vody. Následne mali byť tieto body pospájané, aby vytvorili finálnu líniu stoku vody. Prvým problémom je vytvorenie optimálneho počtu bodov, ktorý by reprezentoval líniu. Aj keby sa podarilo vytvoriť zodpovedajúcu sadu bodov, nastal by ďalší problém. Keďže sú body rozmiestňované náhodne, nie je možné pospájať ich do línií tak, aby predstavovali výslednú líniu stoku vody, pretože spájanie do línií prebieha na základe ID jednotlivých bodov. Je možné špecifikovať vlastné poradie pre výber bodov ale pri vygenerovanom počte bodov by to bolo prakticky nemožné. Preto táto funkcia nebola v ďalších častiach spracovania diplomovej práce využitá.

Focal Statistics

Táto funkcia umožňuje vykonávať rovnaké operácie ako funkcia *Cell Statistics* s tým rozdielom, že sa štatistické operácie vykonávajú nad stanoveným okolím pre každú bunku a nie iba nad každou bunkou. Počas testovania však funkcia neposkytla potrebnú funkcionálnosť a pre potreby práce nebola ďalej využitá.

Filter

Filter umožňuje vykonávať vyhladzovanie alebo zvýraznenie hrán v rastru. Funkcia teda ponúka možnosť využiť nízkofrekvenčný filter (vyhladzovanie) alebo vysokofrekvenčný filter (zvýrazňovanie hrán). Funkcia umožnila zvýrazniť hrany vygenerovaných rozptýlených dát alebo ich vyhladiť. Funkcia však neposkytla potrebné výstupy, ktoré by mohli byť využité pri extrakcii línií.

Niektoré z uvedených funkcií ako napríklad *Kernel Density* alebo *Buffer* sa taktiež nachádzajú v GRASS GIS. Vytvorené postupy, ktoré zahŕňajú práve tieto funkcie, vyžadujú využitie funkcie *Thin*. Ako už bolo ukázané na obrázku 30, výsledky funkcie *Thin* v GRASS GIS nie sú v porovnaní s ArcGIS dostačujúce, preto neboli v tomto programe postupy testované a zodpovedajúce funkcie popísané.

Tabuľka 2: Testované funkcie a ich použiteľnosť

testovaná funkcia	software	použiteľnosť
Thin	GRASS	✗
Thin	ArcGIS	✓
Buffer	ArcGIS	✓
Cell Statistics	ArcGIS	✓
Collapse Dual Lines To Centerline	ArcGIS	✗
Create Random Points	ArcGIS	✗
Extract By Attributes	ArcGIS	✓
Filter	ArcGIS	✗
Focal Statistics	ArcGIS	✗
Kernel Density	ArcGIS	✓
Merge Divided Roads	ArcGIS	✗
Thin Road Network	ArcGIS	✗
Reclassify	ArcGIS	✓

4.3 Navrhnuté postupy

Jedným z hlavných cieľov diplomovej práce je navrhnúť postup alebo postupy, ktoré budú umožňovať extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát. Prvým krokom k dosiahnutiu tohto cieľa bola analýza možností softwarových produktov a následné vytipovanie funkcií, ktoré by mohli byť využité. Funkcie boli testované nad rôznymi vstupnými dátami, aby boli pokryté všetky potenciálne možnosti. Pri každom výstupe funkcií boli navrhované ďalšie kroky, ktoré by v konečnom dôsledku umožnili dosiahnuť požadovaného cieľa. Niektoré z funkcií sa vďaka svojim možnostiam stali odrazovými mostíkmi pre ďalšie kroky, ďalšie zas boli na základe svojej funkcionality využité ako finálne operácie v navrhovaných postupoch.

Pri spracovaní postupov je dôležité, v ktorom kroku bude náhodná zložka spracovaná. Táto náhodná zložka má pôvod vo vstupných dátach (konkrétne v DMR) a šíri sa celým procesom vyhodnocovania stoku vody po teréne. Náhodnú zložku je možné spracovať až vo výsledku metódy Monte Carlo, alebo už v niektorom z krokov analýzy stoku vody. V prípade spracovania náhodnej zložky až z výsledku metódy Monte Carlo pôjde o extrakciu línie zo sady dát pozostávajúcej z veľkého počtu podobných rastrových vrstiev obsahujúcich odvodňovaciu sieť. Ak bude však náhodná zložka spracovaná už v niektorom kroku analýzy, ďalšie kroky analýzy už nebudú túto zložku obsahovať a výsledkom bude výsledná línia stoku vody po teréne.

Ako je však možné vidieť z tabuľky 2, len menšia polovica z testovaných funkcií poskytla možnosti, ktoré mohli byť následne využité v navrhovaných postupoch. Tieto funkcie však tvoria dôležité súčasti postupov, ktoré boli navrhnuté. Výsledky jednotlivých

postupov sa líšia. Či už celkovo alebo len lokálne (rozdiel medzi hornatým a rovinatým terénom). Od poskytnutých výsledkov sa odvíja aj využiteľnosť jednotlivých postupov.

Návrh postupov prebiehal nad dátami, ktoré boli vygenerované nad DMR z DMÚ 25. Ide o rozptýlené dáta vygenerované nástrojom v 30 opakovaníach s chybou aplikovanou na DMR veľkosti ± 10 m a prahovou hodnotou pre vygenerovanie odtokovej siete nastavenou na 30. Z tohto dôvodu budú všetky obrázky a ukážky nachádzajúce sa v tejto kapitole vytvorené a zobrazené s použitím týchto dát.

4.3.1 Postup č. 1

Prvý vytvorený postup využíva k extrakcii línie stoku vody funkciu *Extract By Attributes*. Jej hlavnou úlohou je, ako už bolo spomenuté v kapitole 4.2.2., extrahovať bunky vstupného rastra do výstupného na základe užívateľom definovanej podmienky. Pracuje teda s rastrovými vrstvami.

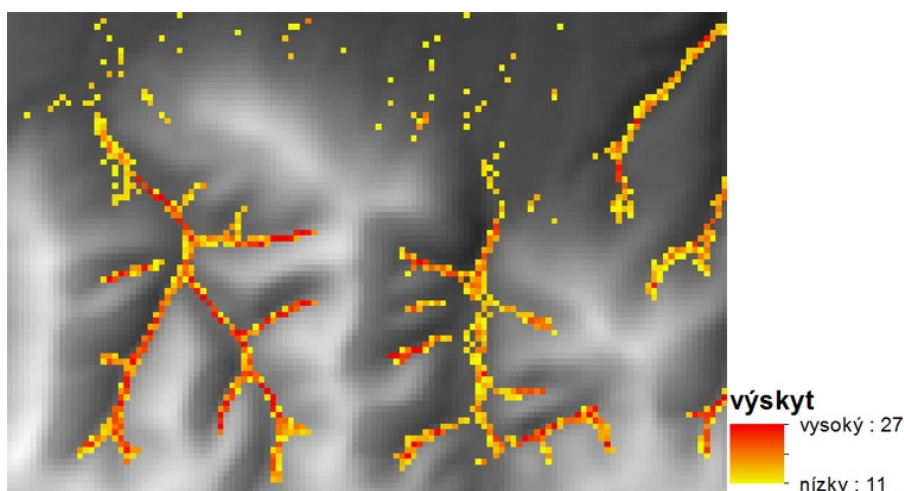
Postup pozostáva z niekoľkých krokov. Prvým krokom je výber vhodnej vstupnej rastrovej vrstvy. Nástroj pre generovanie rozptýlených dát poskytuje tri výstupy v rastrovej podobe. Ide konkrétne o raster so smermi stoku vody, raster s akumulovaným odtokom a raster s vygenerovanou odvodňovacou sieťou. Raster so smermi stoku vody je možné hneď na úvod vylúčiť z kandidátov na vstupnú vrstvu pre funkciu. Obi dva zvyšné rastre boli otestované ako vstup pre funkciu. Ešte pred samotným testovaním je však potrebné zlúčiť pre oba typy rastrov jednotlivé výsledky z každého kroku výpočtu dát. V tomto konkrétnom prípade teda bolo sčítaných 30 rastrov s akumulovaným odtokom (obrázok 20) a 30 rastrov s odvodňovacou sieťou (obrázok 21). To môže byť vykonané napríklad pomocou už spomínanej funkcie *Cell Statistics* s parametrom „SUM“ pre výpočtovú štatistiku. Takto vzniknuté rozptýlené dáta predstavujú vstupnú vrstvu, ktorá už vyhovuje potrebám diplomovej práce. Po testovaní vstupov sa však ako vhodné dáta javili iba rozptýlené dáta odvodňovacej siete. Preto budú použité ako jediná vstupná vrstva pre tento navrhnutý postup.

Druhým krokom po vytvorení vstupných dát je extrakcia požadovaných dát pomocou funkcie *Extract By Attributes*. Najdôležitejšou časťou tohto kroku je správne nadefinovanie podmienky. Jedná sa konkrétne o podmienku *where*, kde sa volia hodnoty zo vstupného rastra, ktoré budú alebo nebudú prenesené do výstupnej vrstvy. Pre vytvorenie podmienky ponúka funkcia takzvaný *Query Builder*, ktorý umožňuje vytvárať rôzne dotazy nad hodnotami zo vstupnej vrstvy. Ako už bolo spomenuté v kapitole 3.2.3., každá bunka v rozptýlených dátach odvodňovacej siete obsahuje hodnotu predstavujúcu počet výskytov jednotlivých vytvorených odvodňovacích sietí v danom mieste. Voľba vhodnej podmienky teda predstavuje voľbu minimálnej hodnoty výskytu, ktorá bude ešte prenesená do výstupu.

Inak povedané, do výstupu budú zaradené iba bunky, na ktorých bol výskyt odvodňovacej siete väčší alebo rovný ako nadefinovaná hodnota. Samotná podmienka môže mať nasledovnú podobu:

"VALUE" >= hodnota

Najdôležitejšia je práve voľba hodnoty výskytu odvodňovacích sietí. Od tejto hodnoty závisí kvalita výsledku. Preto je potrebné voľbu neunáhliť. Dôležité je otestovať viacero variant a na základe testu zvoliť najvhodnejšiu hodnotu. V niektorých prípadoch môže aj rozdiel 1 výskytu výrazne zmeniť charakter výstupnej vygenerovanej odvodňovacej siete. Vstupný raster pre funkciu Extract By Attributes pre tento konkrétny príklad je zobrazený na obrázku 21.



Obrázok 32: Výsledok funkcie Extract By Attributes pre podmienku VALUE >= 11

Na obrázku 32 je už zobrazený výsledok funkcie *Extract By Attributes*. Pre výber buniek do výsledného rastu bola použitá podmienka

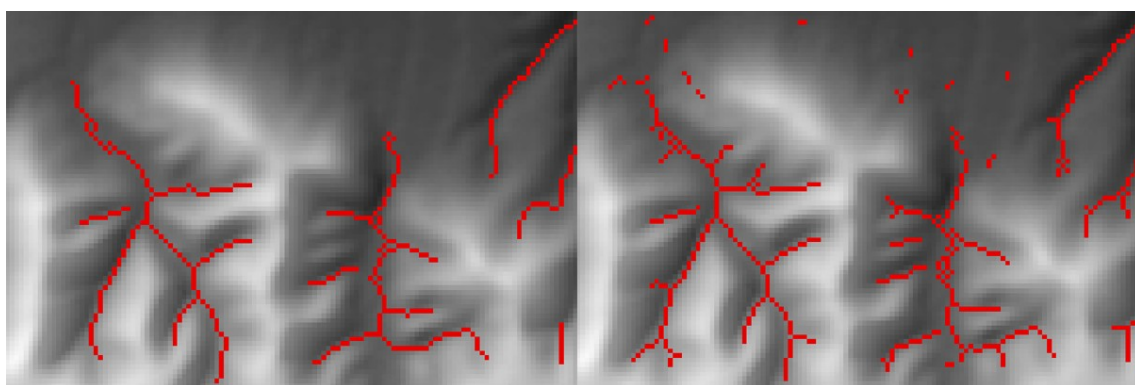
"VALUE" >= 11

Do výstupu sa teda preniesli len bunky, na ktorých mieste sa vyskytla odvodňovacia sieť minimálne 11 krát z celkových 30 výskytov. Z obrázku je možné vidieť, že hodnoty, ktoré boli vyextrahované, sa nachádzajú prevažne v hornatej oblasti. Je to spôsobené hlavne tým, že v hornatej oblasti jednotlivé línie stoku vody dodržiavajú určitý trend, ktorý je daný terénom. V tomto prípade ani výrazné zmeny vo výške susedných buniek, ktoré vznikli aplikovaním náhodnej chyby, nespôsobujú tak výrazný rozptyl línií ako v rovinnom teréne.

Výrazný vplyv na výsledky extrakcie má však okrem stanovenej podmienky aj počet opakovaní cyklu, v ktorom vznikajú dáta a v neposlednej rade aj náhodná chyba aplikovaná v každom cykle. Vplyv týchto faktorov však bude popísaný v kapitole 4.4., ktorá je venovaná testovaniu jednotlivých navrhnutých postupov a zhodnoteniu ich použiteľnosti v rôznych podmienkach.

Výsledok, ktorý je zobrazený na obrázku 32 však nie je vhodný. Dáta zobrazujú rovnaké hodnoty ako sú vo vstupnej vrstve. Pre zobrazenie výslednej extrahovanej línie

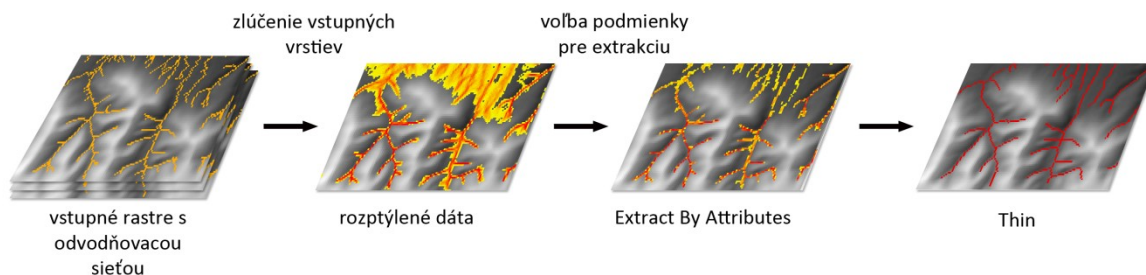
stoku vody z rozptýlených dát je vhodnejšie zobrazit' dáta v binárnej podobe. Dáta teda budú obsahovať len dve hodnoty. Samotná línia bude reprezentovaná hodnotou 1 a ostatné bunky hodnotou 0 alebo NoData. Toto môže byť dosiahnuté napríklad reklasifikáciou. Druhým možným problémom je však to, že výsledné dáta nie sú na väčšine úsekov reprezentované ako rastrová línia. Vtedy prichádza na rad funkcia *Thin*. Táto funkcia umožňuje zredukovať počet buniek predstavujúcich šírku línie. Dôležitým parametrom funkcie, ktorý môže ovplyvniť výsledok, je maximálna hrúbka lineárnych prvkov vo vstupnej rastrovej vrstve. Udáva sa v mapových jednotkách. Implicitná hodnota je desaťnásobok veľkosti bunky. Na obrázku 33 sú zobrazené výsledky funkcie *Thin*. Na ľavom obrázku bola maximálna hrúbka línie ponechaná implicitne (hodnota 502.6). Na pravom obrázku bola táto hodnota nastavená na 10. Rozdiely vo výsledkoch je vidieť na prvý pohľad. Výsledok na ľavom obrázku pôsobí vyhladenejší a bez krátkych líniových úsekov. Výsledok na pravej strane naopak obsahuje pravdepodobne detailnejšiu odvodňovaciu sieť. Obsahuje však aj nežiaduce krátke úseky, ktoré vznikli z buniek nachádzajúcich sa v rovinatej oblasti. Tieto bunky sa pravdepodobne nachádzajú na hranici pre výber do výstupu funkcie *Extract By Attributes*. Týchto buniek je však veľmi málo a netvoria spolu žiadne línie. Na tomto príklade je vidieť dôležitosť správnej voľby nie len vhodnej podmienky pre extrakciu dát ale aj tohto nepovinného parametra funkcie *Thin*. Najlepším spôsobom pre vytvorenie finálnej odvodňovacej siete je opäť testovanie viacerých hodnôt a voľba toho, ktorý najviac vyhovuje potrebám.



Obrázok 33: Výsledky funkcie *Thin* s rozdielnymi vstupnými parametrami pre postup č. 1

Z výsledkov postupu je možné usúdiť, že v tomto konkrétnom prípade je zvolený postup vhodný len pre extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát v hornatom teréne.

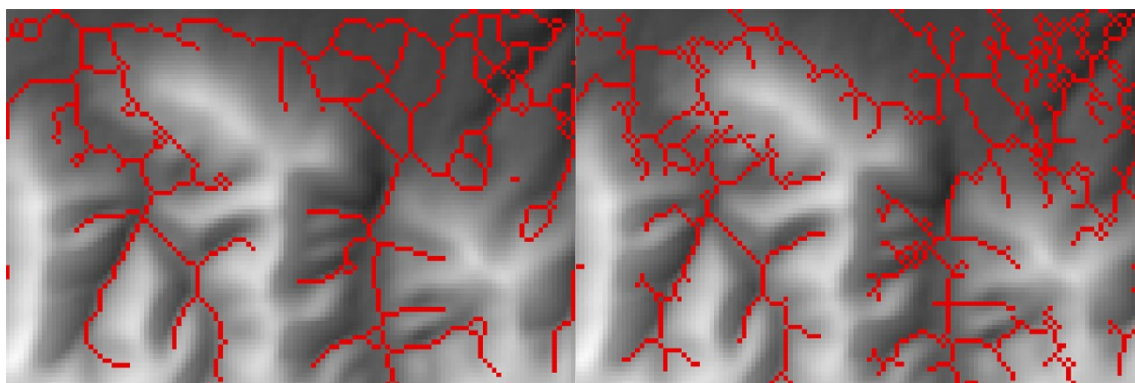
Zhrnutie jednotlivých krokov postupu v grafickej podobe je možné vidieť na obrázku 34.



Obrázok 34: Grafické znázornenie krokov postupu č. 1

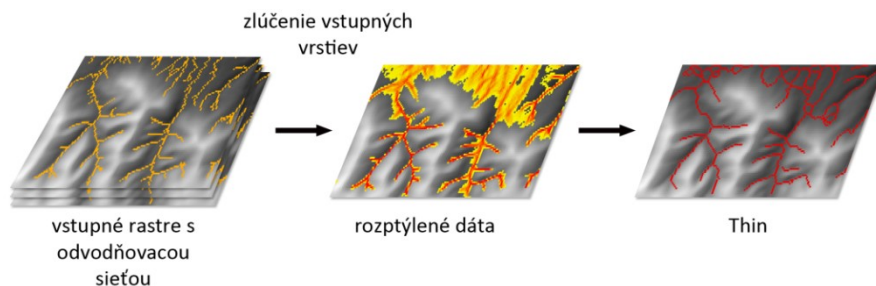
4.3.2 Postup č. 2

Tento postup predstavuje zjednodušenú formu predchádzajúceho postupu. K extrakcii dochádza opäť z rozptýlených dát odvodňovacej siete. Rozdielom oproti predchádzajúcemu postupu je to, že je v tomto prípade vynechaná funkcia *Extract By Attributes*. Teda funkcia *Thin* je aplikovaná priamo na rozptýlené dáta. Tu však vzniká problém. Táto funkcia umožňuje zredukovať počet buniek predstavujúcich šírku línie. Pri tom však neberie do úvahy počet výskytov jednotlivých odvodňovacích sietí. Výsledná línia teda vzniká len na základe redukovania buniek vo vstupnej vrstve. V prípade hornatej oblasti by to nebol až taký problém, keďže jednotlivé línie stoku vody v takom teréne zväčša sledujú určitý trend. V prípade rovinatých dát však línie žiaden trend nesledujú a sú rozptýlené doslova po celej oblasti. To je možné sledovať napríklad na obrázku 21, kde je vidieť, že celá oblasť s rovinatým terénom je posiatá bunkami rastru s odvodňovacou sieťou. Je teda možné tvrdiť, že táto metóda je v prípade rovinatých oblastí takmer nepoužiteľná. Výrazné zmeny nenastanú ani v prípade použitia vstupných dát vzniknutých pri inom počte opakovaní a s odlišnou aplikovanou chybou. Aj napriek tomu bola táto metóda testovaná na všetkých typoch vytvorených dát a zhodnotenie bude opäť uvedené v kapitole 4.4.. Využitie bude mať táto metóda teda len v prípade hornatého terénu.



Obrázok 35: Výsledky funkcie *Thin* s rozdielnymi vstupnými parametrami pre postup č. 2

Na obrázku 35 je opäť možné vidieť výsledky funkcie *Thin*. Na ľavom obrázku je maximálna hrúbka línie ponechaná implicitne a na pravom obrázku je nastavená na 10. V tomto prípade je lepšie ponechať maximálnu hrúbku na implicitnej hodnote. Taktiež je možné vidieť, ako funkcia pracuje v rovinatých oblastiach, kde sa v dátach vyskytujú rozsiahle plochy, ktoré nie je možné považovať za línie. Funkcia síce z takýchto dát vygeneruje línie ale nie je možné tvrdiť, že zodpovedajú skutočnosti.



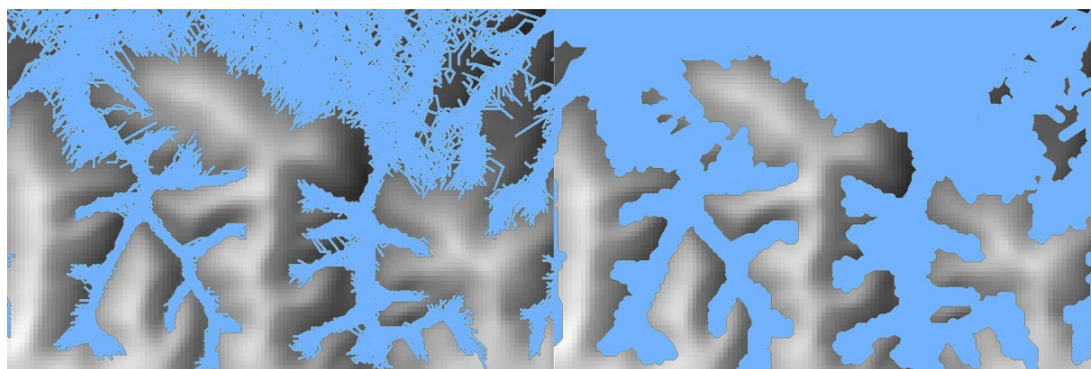
Obrázok 36: Grafické znázornenie krokov postupu č. 2

4.3.3 Postup č. 3

Tretí navrhnutý postup je odlišný od predchádzajúcich. Prvým rozdielom oproti predchádzajúcim postupom je vstupná vrstva rozptýlených dát. Ako vstup je síce použitá odvodňovacia sieť ako v predchádzajúcich prípadoch, ide však o jej vektorovú podobu. Ide teda o dáta, v ktorých sú zlúčené jednotlivé polylinie vytvorené počas cyklu generujúceho rozptýlené dáta (obrázok 22).

Prvým krokom je použitie funkcie *Buffer*. Funkcia je popísaná v kapitole 4.2.2.. Buffer je vytvorený v užívateľom definovanej vzdialenosti. Práve vzdialenosť, do ktorej je buffer vytvorený, hrá kľúčovú úlohu v tomto postupe. Od správne definovanej vzdialenosti závisí celkový výsledok podobne ako tomu bolo v prípade správnej definície podmienky pre extrakciu dát v prvom navrhnutom postupe. Tento postup opäť využíva funkciu *Thin*. Buffer je v prvom kroku postupu vytvorený z toho dôvodu, aby bola okolo zhluku polylinií vytvorená oblasť, ktorú bude následne možné stenčiť pomocou *Thin* funkcie. Jednotlivé polylinie sú tvorené krátkymi líniovými úsekmi. Funkcia *Buffer* vytvorí oblasť okolo každého tohto úseku. To však nie je vhodné, pretože pri zlúčení všetkých polylinií vznikne v dátach obrovské množstvo línií, okolo ktorých budú vytvorené buffery. Následné vykreslenie tak veľkého množstva bufferov je zdĺhavé. Existujú dve možnosti, ktorými sa dát tento problém odstrániť. Prvou je zlúčenie týchto krátkych líniových úsekov do jednej línie pre každý výstup polygónovej odvodňovacej siete. Tento postup by však bol veľmi zdĺhavý v prípade väčšieho počtu opakovaní cyklu. Druhou možnosťou je pri funkcii *Buffer* zvoliť možnosť zlúčenia všetkých bufferov, ktoré sa prekrývajú. Keďže ich je veľké množstvo, je možné s istotou tvrdiť, že sa budú prekrývať. Výsledkom funkcie *Buffer* bude v tomto prípade s najväčšou pravdepodobnosťou jeden polygón.

Na obrázku 37 je možné vidieť dva príklady výstupu funkcie *Buffer*. V ľavej časti obrázku je buffer vytvorený okolo polylinií do vzdialenosti 15 m. V pravej časti je buffer vytvorený do vzdialenosti 60 m.

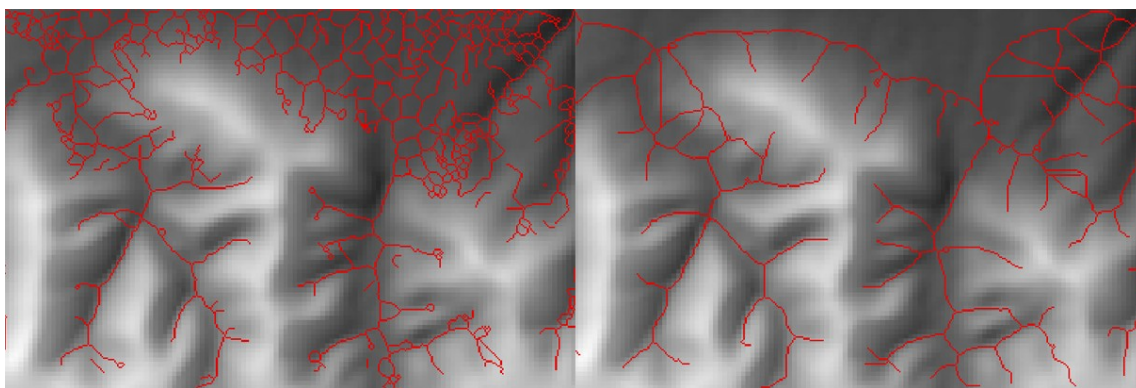


Obrázok 37: Výsledok funkcie *Buffer* do vzdialenosti 15 m (ľavá časť) a 60 m (pravá časť)

Po správnom zvolení vzdialenosti, do ktorej sa buffer bude vytvárať a následnom vytvorení bufferu je potrebné výsledok konvertovať do rastrovej podoby. Dôvodom pre tento krok je to, že funkcia *Thin* dokáže pracovať len s rastrovými vrstvami. Ku konverzii do rastrovej podoby je použitá funkcia *Polygon To Raster*, ktorú obsahuje ArcGIS. Táto funkcia poskytuje niekoľko vstupných parametrov. Je možné zvoliť atribút zo vstupnej

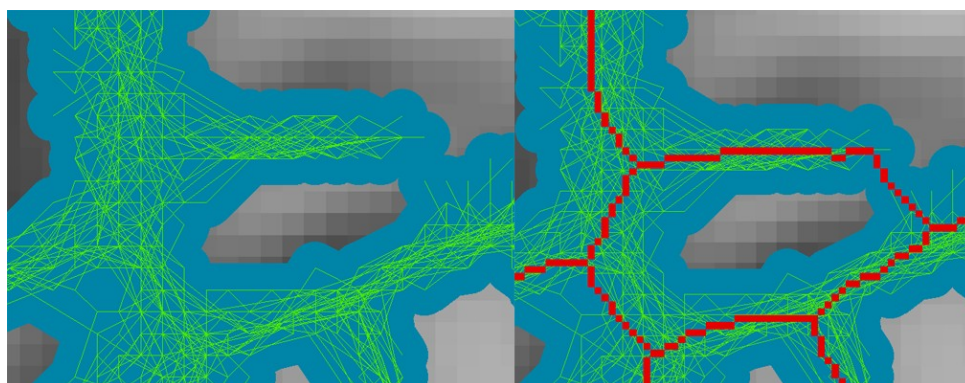
vrstvy, ktorého hodnoty budú konvertované do výstupného rastru. Taktiež je možné zvoliť metódu, na základe ktorej bude hodnota atribútu priradená bunke rastru ak do bunky spadá viac ako jeden polygón. Žiadny z týchto parametrov však nie je pre extrakciu línií dôležitý, pretože polygón predstavujúci buffer neobsahuje žiadne informácie, ktoré by mohli byť v procese extrakcie užitočné. Jediným z parametrov, ktorý môže byť vyplnený okrem vstupnej vrstvy, je veľkosť bunky výstupného rastru. Po vyplnení parametrov už nasleduje konverzia bufferu do rastrovej podoby.

Po konverzii už prichádza na rad funkcia *Thin*. Táto funkcia je v tomto prípade použitá z rovnakých dôvodov ako v predchádzajúcich prípadoch. Slúži teda pre redukciu buniek v rastri, konkrétne pre zredukovanie vytvorenej obalovej zóny okolo rozptýlených línií. Cieľom je dosiahnuť redukciu rastru, ktorý predstavuje zhuk rozptýlených línií, do jednej línie. Dôležitá je opäť správna voľba maximálnej hrúbky línie. Znova sa osvedčili výsledky pri ponechanej implicitnej hodnote. So znižujúcou sa maximálnou hrúbkou línie sa výsledok funkcie *Thin* zhoršoval. Pri zväčšení hodnoty oproti implicitnej hodnote pôsobil výsledok vyhladenejšie ako pri implicitnej hodnote. Na obrázku 38 sú zobrazené výsledky funkcie *Thin* aplikovanej na buffer. Na ľavej strane ide o buffer vytvorený do vzdialenosti 15 m a na pravej strane o buffer vytvorený do vzdialenosti 60 m. Pre vytvorenie týchto výsledkov bola použitá implicitná hodnota pre maximálnu hrúbku línie. Je možné vidieť výrazný rozdiel vo výsledkoch odvíjajúci sa od vzdialenosti použitej pre vytvorenie bufferu. Preto je pri využití tohto postupu potrebné dbať na vhodnú voľbu tohto parametru. Môže od nej závisieť kvalita výsledku.



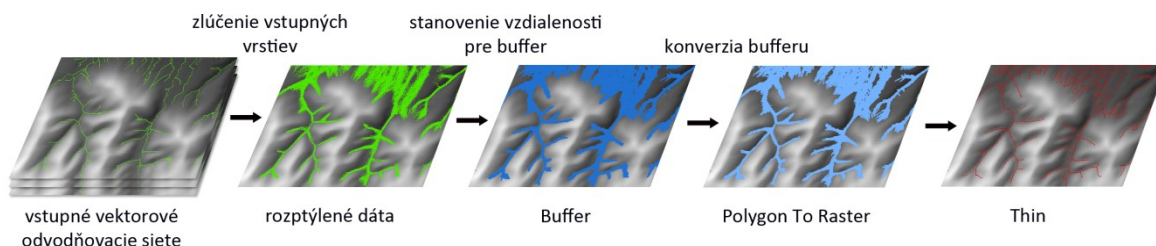
Obrázok 38: Výsledky funkcie *Thin* pre postup č. 3 získané z dát zobrazených na obrázku 37

Nevhodná voľba vzdialenosti pre vytvorenie bufferu môže spôsobovať problém, ktorý je možné vidieť na obrázku 39. Buffer vytvorený okolo zhukov línií, ktoré majú takmer rovnobežný priebeh, sa môže v určitej časti spojiť. To pri následnom použití funkcie *Thin* môže viesť k efektu aký je zobrazený na obrázku. Namiesto dvoch línií vznikne uzavretá línia, ktorá nezodpovedá pôvodným rozptýleným dátam. Podobný problém môžu spôsobovať odľahlé osamotené línie. Táto chyba potvrdzuje to, čo už bolo spomenuté. Voľba vzdialenosti je kritickou časťou postupu. Je však takmer isté, že nie je možné nájsť takú vzdialenosť, pre ktorú budú výsledné dáta kvalitné a tiež nebudú obsahovať podobné chyby. Je teda potrebné stanoviť vhodný pomer medzi kvalitou dát a obsahom spomenutých chýb.



Obrázok 39: Chyba vznikajúca pri nesprávne definovanej vzdialenosti pre buffer

Z obrázku 38 je možné taktiež vidieť, že tento postup poskytuje dobré výsledky len v prípade hornatých oblastí. V rovinatých oblastiach sa výsledky podobajú na druhý uvedený postup, ktorý využíval funkciu *Thin* pre stenčenie rastu s rozptýlenými odvodňovacími sieťami. Tento postup je možné v podstate považovať za takmer rovnaký postup, ktorý je však upravený pre prácu s odlišným typom dát. Jediným rozdielom sú vstupné dáta, ktoré sú vo vektorovej podobe. Tie sa však s pomocou funkcie *Buffer* upravujú do podoby, ktorá je podobná vstupným dátam predchádzajúceho postupu. Po tomto kroku už ide o ten istý postup. Tento fakt je však výhodou, pretože v niektorých prípadoch môže byť dostupný len jeden typ dát. Takto je možné sa dopracovať k takmer rovnakým výsledkom s využitím oboch typov dát.

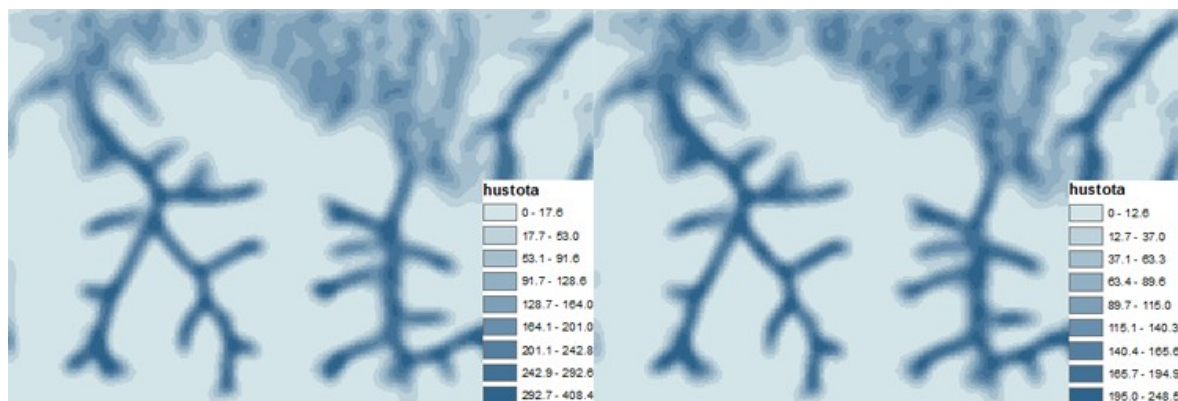


Obrázok 40: Grafické znázornenie krokov postupu č. 3

Jednotlivé kroky, ktoré sa vykonávajú pri extrakcii línie stoku vody s využitím postupu č. 3, sú zhrnuté a zobrazené na obrázku 40.

4.3.4 Postup č. 4

Tento postup sa taktiež líši od ostatných aj keď finálny krok je opäť rovnaký. Ako vstupnú vrstvu využíva, podobne ako v predchádzajúcom prípade, vektorové dáta predstavujúce rozptýlené línie odvodňovacích sietí (obrázok 22). Okrem líniových prvkov je však možné využiť aj bodové prvky, pretože funkcia *Kernel Density* umožňuje prácu s oboma typmi prvkov. Je teda možné z poskytnutých línií vygenerovať body a tie použiť ako vstupnú vrstvu pre postup.



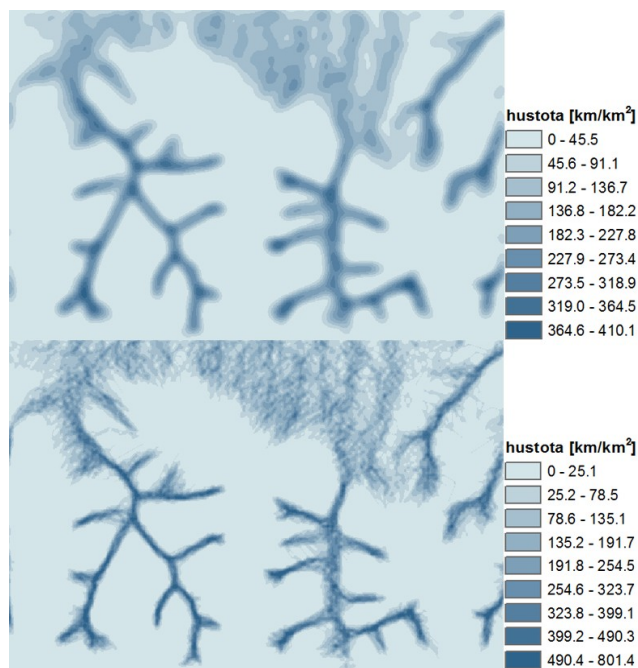
Obrázok 41: Porovnanie výsledkov Kernel Density pre rozdielne vstupné vrstvy

Prvým krokom je použitie funkcie *Kernel Density*. Prvý problém predstavujú samotné vstupné dáta. Už bolo spomínané, že tieto vektorové rozptýlené dáta sa skladajú z veľkého množstva krátkych líniových úsekov. Podľa definície funkcie *Kernel Density* by sa teda mala hustota prvkov vypočítavať pre každý z týchto krátkych líniových úsekov. Je potrebné zvážiť, či použiť takéto dáta alebo ich upraviť do inej podoby. Jednou z ďalších možností je zlúčiť všetky tieto krátke segmenty do jednej línie. To je možné dosiahnuť napríklad pomocou funkcie *Dissolve*. Táto funkcia umožňuje agregovať jednotlivé geoprvky na základe niektorého z atribútov. Pomocou *Dissolve* docielime to, že v dátach sa bude nachádzať len jedna línia. Funkcia *Kernel Density* poskytuje s využitím takto agregovaných dát mierne odlišné výsledky (obrázok 41). Na ľavej strane obrázka je výstup z *Kernel Density* s použitím pôvodných dát. Pravá strana obsahuje výsledok s použitím agregovaných dát.

Aj keď sú výsledky vytvorené z agregovaných dát odlišné s rozdielnymi hodnotami, pre samotnú extrakciu línie stoku vody by tento rozdiel nemal hrať podstatnú úlohu. Okrem celkovej agregácie všetkých segmentov do jednej línie je možné agregovať segmenty osobitne pre každú vrstvu vytvorenú v každom opakovaní cyklu. Takto vzniknuté vrstvy môžeme následne zlúčiť, čím dostaneme vo výsledných dátach počet línií rovnaký ako počet opakovaní cyklu pre generovanie dát. *Kernel Density* však s použitím týchto dát poskytuje identické výsledky ako pri použití pôvodných dát.

Po tom ako je zvolený vhodný vstup pre *Kernel Density*, je možné túto funkciu vykonať. Vo funkcii je možné definovať plošnú jednotku pre výstup. Ide konkrétne o plošnú jednotku výstupných hodnôt hustoty. Ak napríklad vstupné jednotky sú metre, implicitná plošná jednotka hustoty pre línie bude počet kilometrov línií na jeden štvorcový kilometer [36]. Implicitná hodnota pre tento parameter je odvodená od lineárnej jednotky definovaného súradnicového systému. Preto bola pri tomto parametri ponechaná implicitná hodnota, ktorá bola štvorcový kilometer. Posledným parametrom je polomer vyhľadávania. Tento parameter je najdôležitejší, pretože od jeho správnej definície sa odvíja kvalita výsledku. V kapitole 4.2.2. bolo spomenuté, že čím väčšiu hodnotu tohto parametru nastavíme, tým bude výsledok vyhladenejší. Hodnota parametru predstavuje vzdialenosť, do ktorej budú nájdené prvky pripočítané do výslednej hustoty pre sledovaný prvok. Teda ak je vstupná jednotka v metroch, pre vyhľadanie prvkov do jedného kilometra je potrebné

nadefinovať hodnotu parametru na 1000. Na obrázku 42 je vidieť rozdiel vo výsledku funkcie pre rôzne hodnoty parametru polomeru vyhľadávania. Na vrchnom obrázku bola použitá implicitná hodnota (139 m), zatiaľ čo na spodnom obrázku bola použitá hodnota 40 m. Na základe týchto výsledkov je možné povedať, že pre extrakciu línií v hornatých oblastiach je možné použiť obe hodnoty parametru. Pre extrakciu v rovinatých oblastiach však bude pravdepodobne výhodnejšie použiť menší polomer vyhľadávania. Použitie však výrazne závisí na parametroch, s akými boli vytvorené vstupné dáta. Dáta použité pre ukážku boli vytvorené v 30 opakovaniach a s náhodnou chybou ± 10 m. Dá sa predpokladať, že pri väčšom počte opakovaní a menšej náhodnej chybe nebudú jednotlivé línie tak rozptýlené, a preto aj výsledná hustota vypočítaná z takýchto dát bude pravdepodobne výrazne vyššia v oblastiach výskytu najväčšieho počtu línií. To umožní extrahovať línie stoku vody aj v rovinatých oblastiach s vyššou kvalitou ako v predchádzajúcich dvoch postupoch. V tejto kapitole však nie je priestor pre overenie tohto predpokladu. V nasledujúcej kapitole bude postup testovaný na všetkých spomenutých typoch vygenerovaných dát, čím sa taktiež overí tento predpoklad.

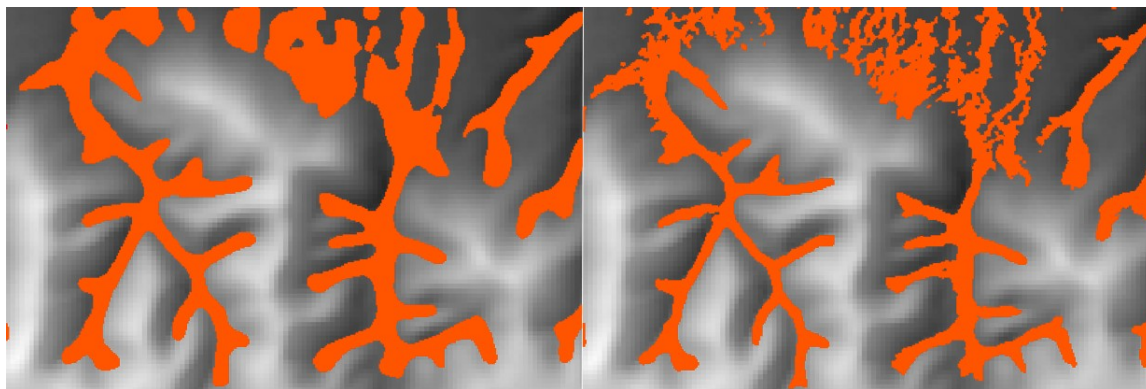


Obrázok 42: Výstup Kernel Density pre polomer vyhľadávania 139 m (horná časť) a 40 m (spodná časť)

Výsledky vytvorené funkciou *Kernel Density* však nie sú stále vhodné pre extrakciu línií stoku vody. Preto je ďalším krokom reklasifikácia výsledku funkcie. Reklasifikáciu je možné vykonať pomocou funkcie *Reclassify*. Pomocou reklasifikácie môžeme z výsledku odstrániť kategórie s najmenšími hustotami prvkov. Tieto kategórie nie sú pre extrakciu dôležité, a preto je možné ich odstrániť. Pod odstránením je myslená reklasifikácia ich hodnôt na NoData. Ešte pred samotnou reklasifikáciou je však potrebné stanoviť, ktoré kategórie budú reklasifikované. Dôležitosť tohto kroku je možné prirovnať k dôležitosti voľby vhodného vyhľadávacieho polomeru. Najlepším spôsobom je zobrazíť výstupný raster v klasifikovanej stupnici, ktorá rozdeľuje hodnoty do niekoľkých skupín. Počet

skupín aj rozdelenie hodnôt do skupín je možné ľubovoľne meniť. Pomocou možnosti klasifikácie hodnôt do skupín je možné vhodne zvoliť hodnoty, ktoré nemajú pre extrakciu veľký význam a priradiť ich do kategórií, ktoré budú následne reklasifikované na hodnotu NoData. Týmto spôsobom je možné hlavne vylepšiť následnú extrakciu v rovinatej oblasti. V najväčšej miere to závisí od vstupných dát pre funkciu *Kernel Density*. Po úspešnej klasifikácii hodnôt je možné jednotlivé kategórie reklasifikovať. Kategórie, ktoré sme určili pre odstránenie, budú reklasifikované na hodnotu NoData. Pre ostatné kategórie, ktoré nie sú určené na odstránenie, nie je dôležitá hodnota, ktorú jej priradíme. Táto hodnota nemá pre extrakciu žiadny význam. Dôležité je však, aby nové hodnoty boli dátového typu integer. Dôvodom je to, že funkcia *Thin* dokáže pracovať iba s hodnotami tohto dátového typu.

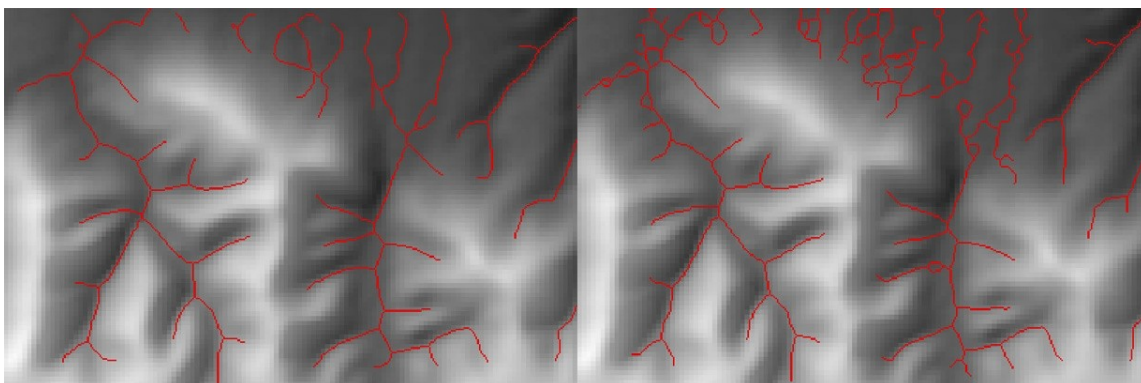
Na obrázku 43 je možné vidieť reklasifikované výsledky funkcie *Kernel Density*, ktoré boli zobrazené na obrázku 42. Na ľavej strane obrázku sú zobrazené dáta, ktoré predstavujú hustotu líniových prvkov v nastavenej vzdialenosti väčšiu ako 118. Na pravej strane sú dáta s hustotou väčšou ako 125. Tieto hodnoty boli stanovené na základe testovania a pokusov. Týmto procesom sú vytvorené dáta, ktoré sú pripravené na posledný krok navrhovaného postupu.



Obrázok 43: Reklasifikované výsledky funkcie *Kernel Density* z obrázku 42

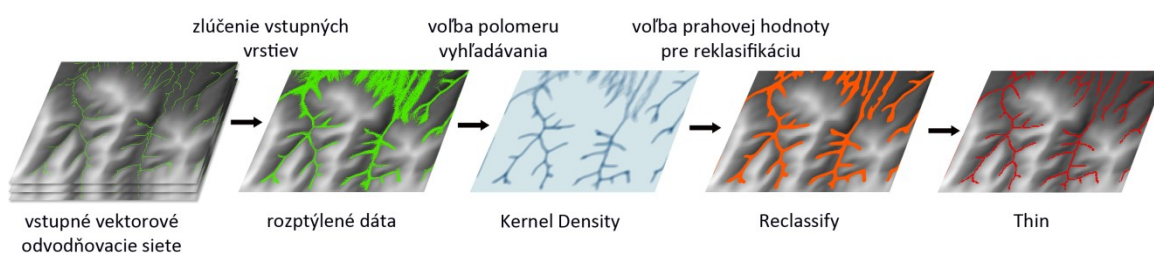
Týmto krokom je opäť aplikovanie funkcie *Thin*. V tomto prípade je aplikovaná na reklasifikovaný výsledok funkcie *Kernel Density*. Výsledok operácie je zobrazený na obrázku 44. Je možné vidieť, že výsledky v rovinatej oblasti sú lepšie ako v predchádzajúcich postupoch. V tomto prípade poskytuje lepšie výsledky pokus nad výsledkom *Kernel Density* s implicitne zadaným polomerom hľadania (ľavá časť obrázku). To je pravdepodobne spôsobené použitím dát, ktoré vznikli iba v 30 opakovaníach a obsahujú náhodnú chybu ± 10 m. V takomto prípade je pri použití menšieho polomeru vyhľadávania väčší problém kvalitatne reklasifikovať dáta v rovinatej oblasti. Tento problém však už bol v popise postupu spomínaný a bude overený v ďalšej kapitole.

Celkovo tento postup poskytuje lepšie výsledky ako predchádzajúce dva postupy. Lepšia kvalita je však spôsobená hlavne lepšími výsledkami v rovinatej oblasti. V hornatej oblasti sa výsledky podobajú pri všetkých postupoch. Kvalita výsledkov však môže byť pravdepodobne vylepšená použitím rozdielnych vstupných dát. To bude overené počas testovania postupu nad ďalšími sadami dát.



Obrázok 44: Výsledok funkcie Thin pre reklasifikované výsledky z obrázku 43

Postup so všetkými krokmi je opäť zobrazený na obrázku 45.



Obrázok 45: Grafické znázornenie krokov postupu č. 4

4.3.5 Postup č. 5

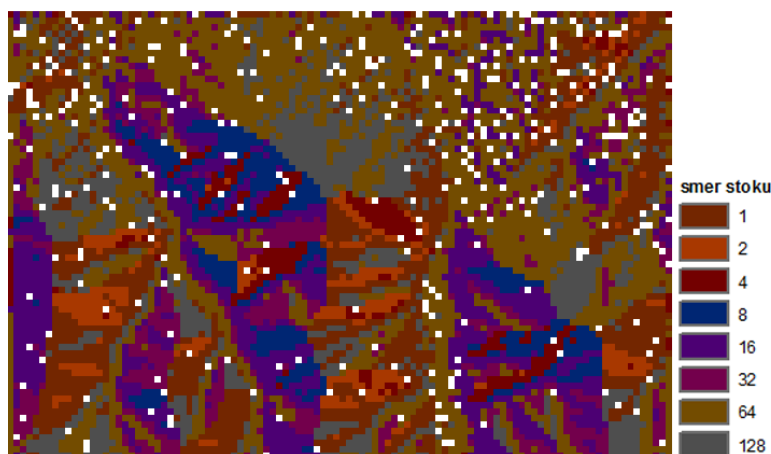
Tento postup predstavuje posledný z navrhovaných postupov. Ide taktiež o postup najviac odlišný od ostatných navrhovaných. Nie je v ňom využitá žiadna funkcia, ktorá bola použitá v niektorom z prechádzajúcich postupov. Rozdielne sú aj vstupné dáta, ktoré boli použité. Ako vstupné dáta využíva tento postup jednotlivé vytvorené rastre so smermi stoku vody. Tieto dáta sú popísané v kapitole 3.2.1. V podstate ide o raster, ktorého bunky obsahujú hodnoty predstavujúce smer stoku vody z danej bunky do susednej bunky s najväčším sklonom. Tieto dáta predstavujú základ pre ďalšie výpočty akumulovaného odtoku a následne odvodňovacej siete. Vytvorený nástroj pre generovanie rozptýlených dát generuje v každom cykle aj tento typ dát. Preto bolo potrebné otestovať, či nemôžu byť taktiež použité ako vstupné dáta pre extrakciu línie stoku vodu.

Prvým krokom bolo nájsť spôsob ako spracovať jednotlivé rastre so smermi stoku vody do formy rozptýlených dát. Jednoduché sčítanie alebo zlúčenie do jedného rastra nie je možné. Dôvod, pre ktorý to nie je možné, vyplýva už z definície funkcie *Flow Direction*, ktorej výstupom je raster so smermi stoku vody. Hodnoty tohto rastra predstavujú smer stoku. Týchto hodnôt môže raster obsahovať 8 a ďalšie hodnoty, ktoré sú odlišné od daných ôsmich hodnôt nemôžu vyjadrovať smer stoku a nemajú v dátach čo robiť. V prípade, že je *Flow Direction* vytvorené nad DMR, ktorý nie je hydrologicky korektný, môžu sa v dátach vyskytnúť aj bunky s hodnotami odlišnými od definovaných hodnôt. Tieto bunky môžu predstavovať lokálne depresie (sinks). Tie boli popísané

v kapitole 3.2.1. Pri obyčajnom sčítaní jednotlivých rastrov so smermi stoku vody by sa vo výsledných dátach vyskytovali práve také bunky, ktorých hodnoty nezodpovedajú ani jednému smeru. Tento problém si môžeme ukázať na príklade sčítania troch rastrov. Každý z týchto rastrov je vytvorený nad tým istým DMR, na ktorý sú však aplikované odlišné náhodné chyby. Jednotlivé smery stoku v bunkách sa môžu aplikovaním náhodných chýb meniacich nadmorskú výšku zmeniť. Pre každý raster sa v bunke predstavujúcej to isté miesto môže zmeniť smer tak, že sa zmenia hodnoty napríklad na 1 v prvom rastri, na 2 v druhom a na 128 v treťom rastri (smery, ktoré hodnoty predstavujú, sú zobrazené na obrázku 11). Sčítaním rastrov by vo výslednom rastri v odpovedajúcej bunke bola hodnota 131, ktorá však nevyjadruje žiaden z definovaných smerov. Teda pri sčítaní napríklad 30 rastrov, ktoré vznikli pri vytváraní rozptýlených dát pre testovanie postupov, by mali všetky bunky hodnoty výrazne odlišné od požadovaných hodnôt. Preto bolo potrebné nájsť spôsob akým zlúčiť jednotlivé rastre bez straty informácií, ktoré obsahujú. Práve pre tento účel slúži v tomto postupe funkcia *Cell Statistics*.

Hlavnou úlohou funkcie *Cell Statistics* je výpočet zvolenej štatistickej operácie nad vstupnými rastrami. Štatistická operácia sa vypočítava nad každou bunkou vstupných rastrov. Pre zabezpečenie toho, aby nedošlo k zmenám hodnôt smeru odtoku vody, bolo potrebné vhodne zvoliť spomínanú štatistiku. Funkcia ponúka 10 štatistických operácií, z ktorých je možné zvoliť tú najvhodnejšiu. Niekoľko z týchto operácií má požadovanú vlastnosť a to konkrétne zachovanie pôvodných ôsmich hodnôt. Ide o operácie MAJORITY, MINORITY, MAXIMUM a MINIMUM. Po dôkladnom preskúmaní možností funkcie bola zvolená operácia MAJORITY. Táto operácia umožňuje vybrať do výstupného rastra hodnoty, ktoré sa v mieste každej bunky vyskytujú vo vstupných raastroch najčastejšie. MAJORITY teda v tomto konkrétnom prípade vyberie hodnoty smeru stoku, ktoré sa vo vstupných raastroch vypočítaných nad DMR opraveným o náhodné chyby, vyskytujú najčastejšie. Výsledkom funkcie bude teda raster s hodnotami, ktoré predstavujú najčastejšie sa vyskytujúce smery stoku vody. Pre použitie tejto operácie sa odporúča mať aspoň tri vstupné vrstvy, pretože z dvoch hodnôt nie je možné určiť najpočetnejšiu hodnotu. V miestach, kde sa hodnoty pri použití dvoch vstupov líšia, zvolí operácia do výstupu hodnotu NoData. Ak sa hodnoty zhodujú, vo výsledku bude zapísaná tá istá hodnota.

Problém pri použití tejto štatistickej operácie môže nastať, ak sa v konkrétnom mieste nachádza viac najpočetnejších hodnôt. V takomto prípade sa vo výstupe pre dané miesto bude nachádzať hodnota NoData. To môže v ďalších krokoch postupu spôsobovať problémy pri určení akumulovaného odtoku a následnom generovaní odvodňovacej siete. Problémom môže byť výskyt takýchto buniek v miestach, kde by mohol prebiehať stok vody. Hodnota NoData v bunke môže spôsobiť prerušenie stoku poprípade zmenu jeho smeru.



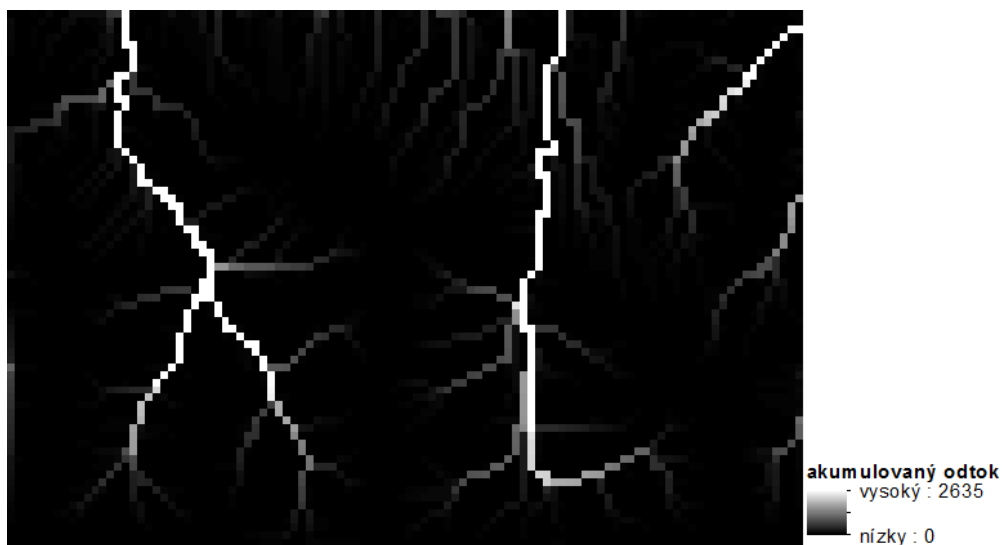
Obrázok 46: Výsledok Cell Statistics s parametrom MAJORITY

Na obrázku 46 je zobrazený výsledok funkcie *Cell Statistics* s MAJORITY ako zvolenou štatistickou operáciou. Výsledný raster zobrazený na obrázku vznikol z 30 rastrov so smermi stoku vody, ktoré boli vytvorené nad DMR z DMÚ 25 s náhodnou chybou ± 10 m. Tmavé farby boli zvolené z toho dôvodu, aby bolo vidieť spomínanú vlastnosť operácie MAJORITY. Je vidieť, že miest s viacerými najpočetnejšími hodnotami sa v rastri nachádza niekoľko. Je jasné, že pre ďalšie použitie týchto dát je potrebné v bunkách s hodnotou NoData túto hodnotu nahradiť. Najlepším spôsobom je nahradiť túto hodnotu najpočetnejšou hodnotou z okolia danej bunky. To je možné vykonať pomocou nasledujúceho vzťahu, ktorý je možné aplikovať na výsledný raster so smermi stoku vody pomocou funkcie *Raster Calculator*:

```
Con(IsNull("raster"), FocalStatistics("raster", NbrRectangle(5,5, "CELL"),
"MAJORITY"), "raster") [33]
```

Vzťah umožňuje na základe podmienky vyhľadávať bunky s hodnotou NoData. Pre nájdené bunky vypočíta zvolenú štatistickú operáciu nad zvoleným okolím. Výsledok funkcie *Cell Statistics* sa dosadí všade, kde sa nachádza "raster". Veľkosť okolia, z ktorého bude určená hodnota, sa nastaví v *NbrRectangle*. V tomto konkrétnom prípade ide o okolie s rozmerom 5x5 buniek. Túto veľkosť je možné nastaviť ľubovoľne podľa potreby. Aby boli opäť zachované pôvodné hodnoty v rastri a nevypočítavali sa nové, bola pre výpočet hodnoty z okolia zvolená štatistická operácia MAJORITY. Výsledkom je opäť raster so smermi stoku vody, v ktorom by sa už nemali objavovať bunky s hodnotou NoData. To však nemusí byť vždy pravda, pretože môže opäť dôjsť k tomu, že sa v stanovenom okolí vyskytne viac najpočetnejších hodnôt. V takomto prípade je nutné znova aplikovať uvedený vzťah na výsledok prvej aplikácie vzťahu. Tento postup je nutné opakovať až kým sa vo výsledku nebudú nachádzať bunky s hodnotou NoData. Výsledkom týchto operácií je teda jeden raster so smermi stoku, ktorého vytvorením bola spracovaná náhodná zložka. Ďalej je teda možné riešiť analýzu stoku bežne tak ako by sa riešila bez zohľadnenia neurčitosti.

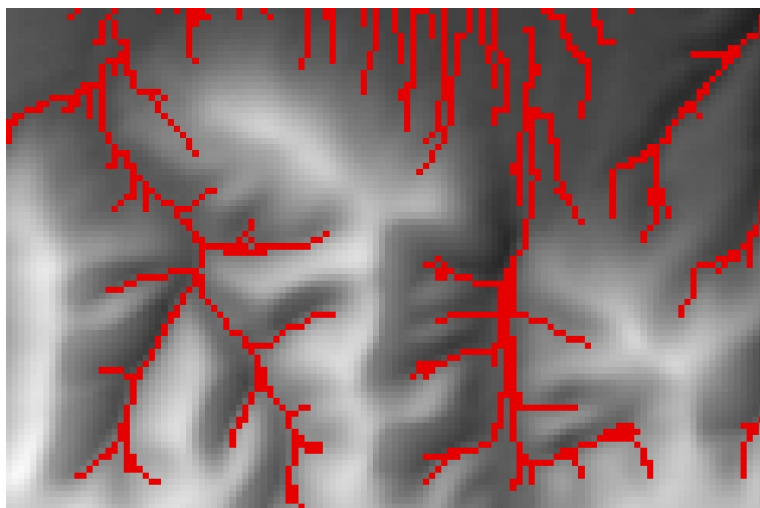
Ďalším krokom, ktorý nasleduje po výpočte rastru so smermi stoku vody, je výpočet akumulovaného odtoku. K tomu slúži už niekoľko krát spomínaná funkcia *Flow Accumulation*.



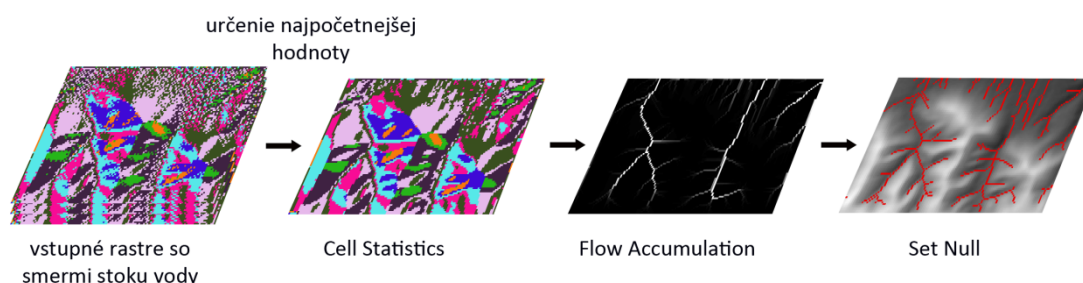
Obrázok 47: Výsledný akumulovaný odtok pre postup č. 5

Z výstupu funkcie *Flow Accumulation* je možné následne vygenerovať výslednú odvodňovaciu sieť, ktorá bude predstavovať aj samotný výsledok celého postupu. Vygenerovanie odvodňovacej siete prebieha rovnako ako v nástroji pre generovanie rozptýlených dát (kapitola 3.2.1.). Použije sa funkcia *SetNull*, ktorá do výstupu zvolí len tie bunky z rastra akumulovaného odtoku, ktoré majú hodnotu väčšiu alebo rovnú nadefinovanej prahovej hodnote.

Výsledok postupu je zobrazený na obrázku 48. Tento postup poskytuje veľmi dobré výsledky v oboch typoch terénu (rovinatom aj hornatom). To je spôsobené hlavne faktom, že samotná náhodná zložka je spracovaná už počas priebehu analýzy stoku. To znamená, že výsledkom analýzy stoku vody nie sú rozptýlené dáta s odvodňovacími sieťami a nie je teda nutné z nich extrahovať najpravdepodobnejšiu líniu stoku vody. Tým odpadá problém, ktorý mali všetky predošlé postupy. V rovinatých oblastiach nie je nutné pokúšať sa vyextrahovať línie zo značne rozptýleného zhluku dát, ktorý extrakciu takmer znemožňuje. Z toho vyplýva, že kvalita výsledkov tohto postupu by mala byť najmenej závislá na vstupných dátach zo všetkých navrhnutých postupov. Nezáleží na tom v koľkých opakovaníach budú vytvorené rastre s odvodňovacou sieťou alebo s akou náhodnou chybou. Náhodná zložka sa spracuje ešte pred vypočítaním akumulovaného odtoku. Toto tvrdenie však bude ešte otestované v nasledujúcej kapitole.



Obrázok 48: Výsledok postupu č. 5



Obrázok 49: Grafické znázornenie krokov postupu č. 5

4.3.6 Zhrnutie

V predchádzajúcich podkapitolách bolo predstavených päť postupov, ktoré boli navrhnuté za účelom extrahovať najpravdepodobnejšie línie stoku vody z rozptýlených dát. Tieto postupy pracujú s rôznymi vstupnými dátami a poskytujú odlišné výsledky. Aj bez testovania postupov je možné tvrdiť, že v hornatých oblastiach poskytujú všetky navrhnuté postupy veľmi podobné výsledky. To je spôsobené hlavne tým, že v takýchto oblastiach nie sú jednotlivé línie stoku vody tak rozptýlené, pretože dodržujú určitý trend. V rovinatých oblastiach však každý z postupov poskytuje odlišné výsledky. To je spôsobené opäť hlavne rozptylom vstupných dát, ktorý je v takýchto oblastiach výrazne väčší. Pri návrhu postupov vznikol predpoklad, že kvalita výstupov je pri niektorých postupoch závislá na parametroch, s ktorými boli vstupné dáta generované (náhodná chyba a počet opakovaní cyklu). Tento predpoklad bude overený v nasledujúcej kapitole, kde budú jednotlivé postupy testované nad všetkými sadami dát, ktoré boli spomenuté v kapitole 3.2.3.

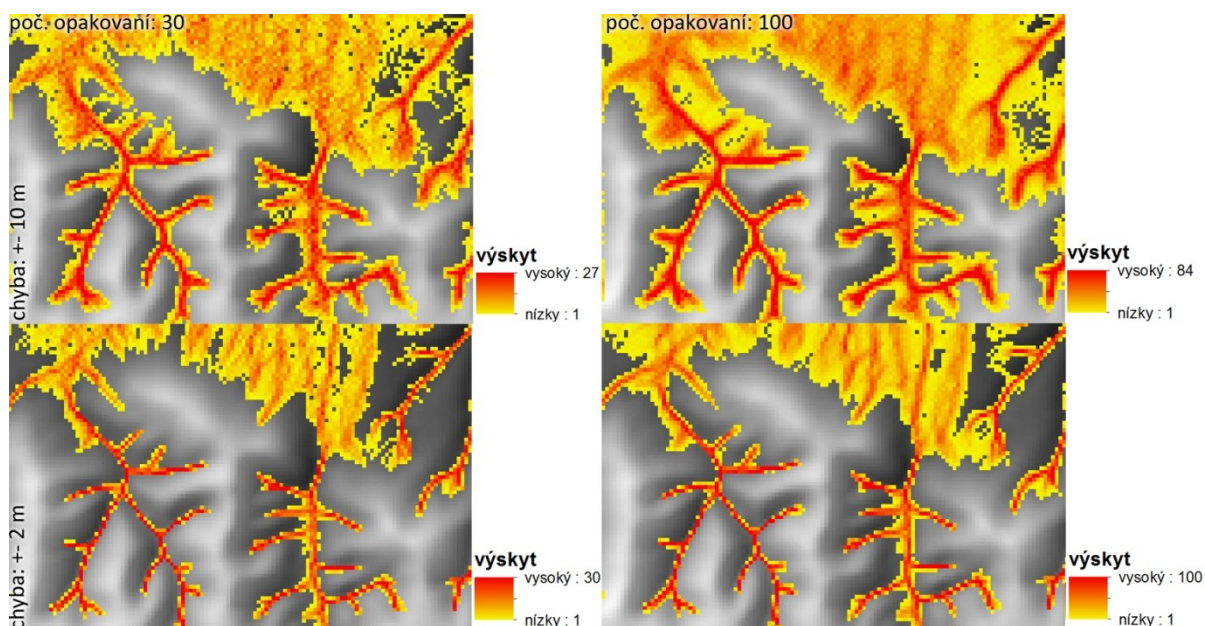
4.4 Testovanie navrhnutých postupov

Testovanie postupov je dôležitým krokom, pretože umožní zhodnotiť jednotlivé navrhnuté postupy a na základe jeho výsledkov bude možné stanoviť optimálne podmienky, pri ktorých môžu byť postupy využité s najvyššou kvalitou. Testovanie prebiehalo nad ôsmimi sadami dát. Prvé štyri boli vytvorené nad DMR pochádzajúceho z DMÚ 25 a posledné štyri z DMR z projektu Floreon+. Nad každým DMR boli vytvorené dáta v 30 a 100 opakovaniach s náhodnými chybami ± 2 a ± 10 m. Nad dátami vytvorenými v 30 opakovaniach s chybou ± 10 m, ktoré boli odvodené z DMR z DMÚ 25, nebolo testovanie potrebné. Táto dátová sada bola vygenerovaná nástrojom ako prvá a bola použitá pre návrh jednotlivých postupov.

Testovanie postupu č. 1

Prvým postupom, ktorý bol testovaný, je postup č. 1 využívajúci funkciu *Extract By Attributes*. Popis postupu, jeho funkcií a parametrov sa nachádza v kapitole 4.3.1.. Ako prvé budú popísané výsledky testovania nad dátami vytvorenými z DMR z DMÚ 25.

Testovanie sa zameriava na to ako vplýva rozdielny počet opakovaní generovania dát a rozdielna náhodná chyba na výsledky postupu.

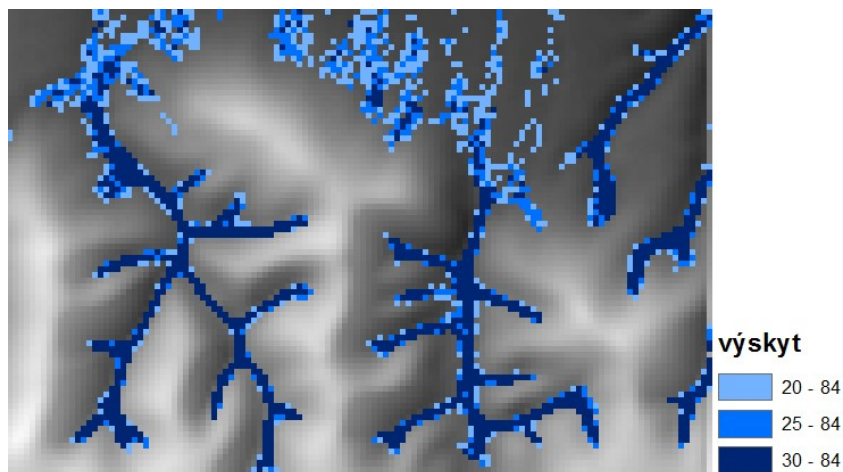


Obrázok 50: Rozdiel vo vstupných dátach vygenerovaných s rôznymi parametrami nad DMR z DMÚ 25

Na obrázku 50 sú zobrazené rozptýlené dáta odvodňovacích sietí vygenerované v 30 a 100 opakovaniach nad DMR s náhodnou chybou ± 10 m a ± 2 m. Tieto dáta predstavujú vstupné vrstvy pre extrahovanie výsledných línií stoku vody pomocou funkcie *Extract By Attributes*. Už pri vstupných dátach je možné pozorovať, že pri dátach vytvorených nad DMR s aplikovanou chybou 2 m sú v rovinných oblastiach bunky s vysokým výskytom rozmiestnené v líniách. Tento jav je možné pozorovať aj v prípade dát vygenerovaných v 100 opakovaniach s chybou 10 m. V tomto prípade však jav nie je

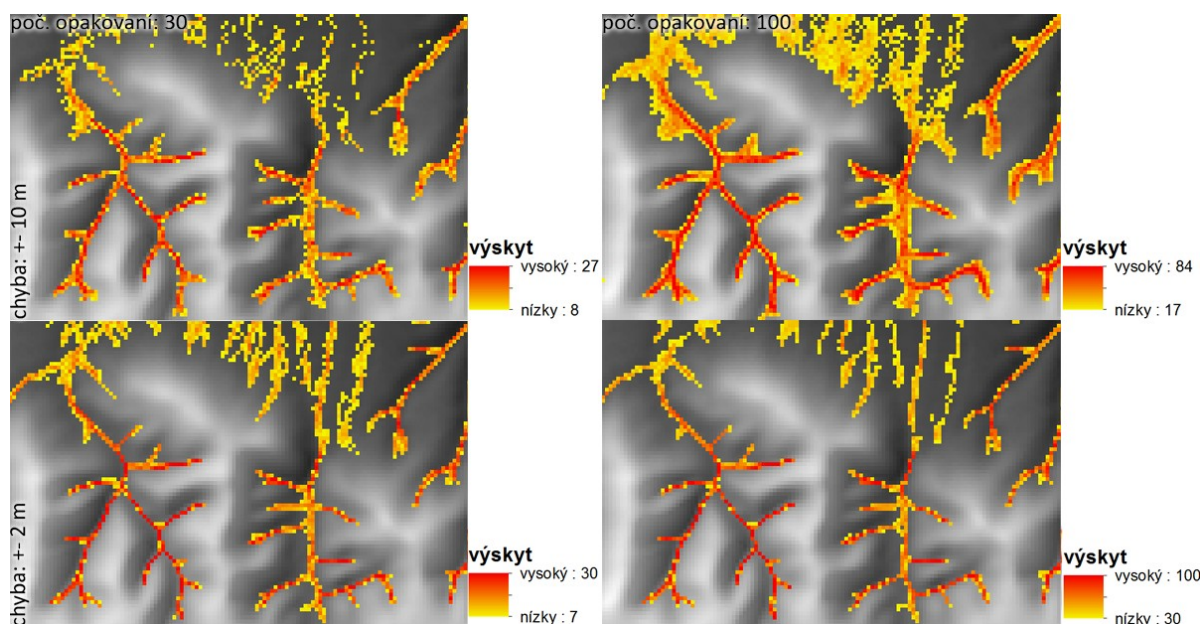
vo vstupných dátach tak výrazný. Z toho vyplýva, že aj samotné výsledky postupu by mali byť pri použití takýchto dát lepšie.

Pri použití funkcie *Extract By Attributes* je najdôležitejšia voľba vhodnej podmienky pre extrakciu. Pre každý z výstupov zobrazených na obrázku 50 bolo potrebné stanoviť túto hodnotu osobitne. Cieľom je hodnotu stanoviť tak aby zvolené hodnoty čo najlepšie predstavovali výslednú líniu stoku vody. To však môže byť v niektorých prípadoch problém. Hlavne v rovinatých oblastiach. Z obrázku 50 je vidieť, že extrakcia by nemala byť v prípade hornatých oblastí problematická, pretože línie nie sú príliš rozptýlené. Ako je možné vidieť, tento jav nie je závislý ani na použitých dátach. Toto tvrdenie by pravdepodobne neplatilo v prípade použitia výrazne vysokej náhodnej chyby. Problém však môže nastať v prípade extrakcie línií v rovinatých oblastiach z dát, ktoré vznikli z DMR, na ktoré bola aplikovaná väčšia chyba (v našom prípade ± 10 m). Z obrázku 50 si je možné všimnúť, že rovinatú oblasť pokrýva rozsiahla oblasť buniek vyjadrujúcich počet výskytov jednotlivých odvodňovacích sietí. To znamená, že jednotlivé odvodňovacie siete sú rozptýlené po celej oblasti. V prípade dát vygenerovaných s chybou 2 m sa však väčšina línií sústreďuje v určitej oblasti, ktorá môže predstavovať výslednú najpravdepodobnejšiu líniu stoku vody. To potvrdzujú hodnoty výskytu v bunkách v týchto oblastiach, ktoré sú výrazne vyššie ako v ich okolitých bunkách. To neplatí pre dáta vygenerované s chybou 10 m. V hodnotách výskytu sa v bunkách v rovinatej oblasti nevyskytujú tak výrazné rozdiely ako v predchádzajúcom prípade. Preto môže byť extrakcia výslednej línie z takýchto dát veľmi obtiažna alebo takmer nemožná. V takýchto prípadoch je náročné zvoliť vhodnú prahovú hodnotu pre extrakciu.



Obrázok 51: Extrahované bunky s rôznou prahovou hodnotou

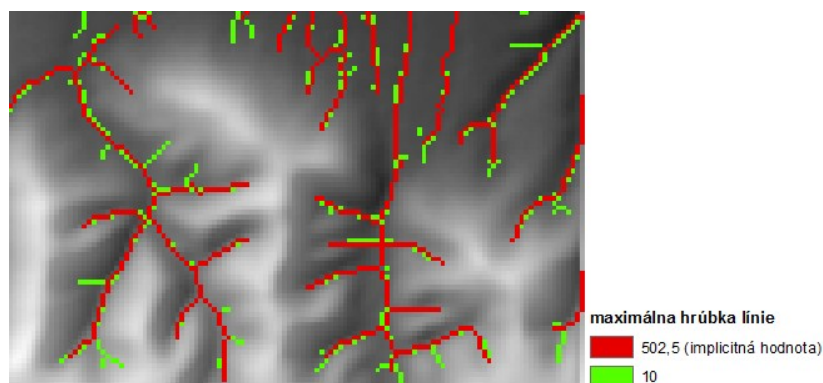
Na obrázku 51 sú zobrazené výsledky extrakcie s tromi rôznymi prahovými hodnotami. Extrakcia v tomto prípade prebiehala nad dátami vytvorenými v 100 opakovaníach a s náhodnou chybou ± 10 m. Je vidieť, že v rovinatých oblastiach ani jeden z uvedených výsledkov vďaka nevýrazným rozdielom v hodnotách výskytu vo vstupných dátach nepredstavuje výsledok, ktorý by mohol byť považovaný za línie stoku vody v danej oblasti.



Obrázok 52: Extrahované hodnoty pre jednotlivé vstupné dáta zobrazené na obrázku 50

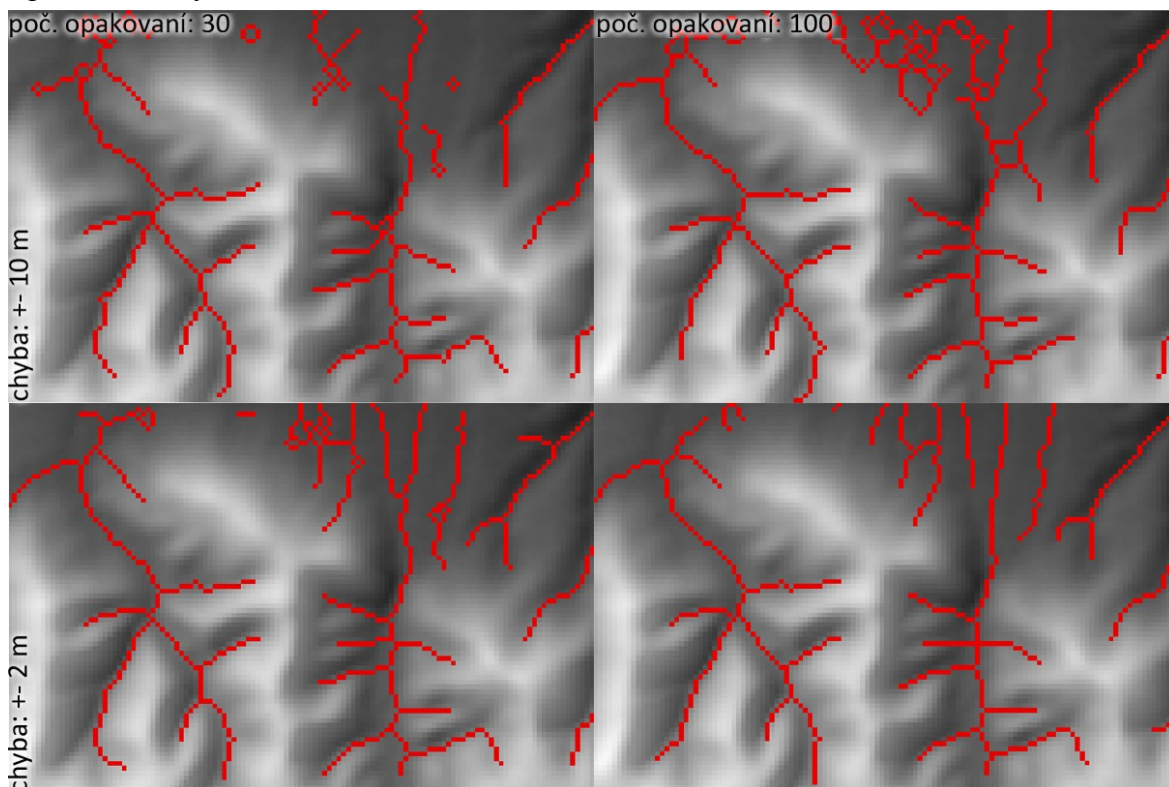
Na obrázku 52 sú zobrazené výsledky funkcie *Extract By Attributes* vytvorené z dát zobrazených na obrázku 50. Jednotlivé prahové hodnoty boli zvolené na základe dôkladného testovania viacerých možností. Za finálnu prahovú hodnotu bola zvolená hodnota, ktorá poskytovala v rámci možností čo najlepšie výsledky pre následnú extrakciu výsledných línií stoku vody. Konkrétne prahové hodnoty sú uvedené v obrázku 52 ako najnižšie hodnoty v legendách pre jednotlivé výstupy. Z obrázku je možné vidieť, že najkvalitnejšie vyextrahované dáta pochádzajú zo vstupných dát vytvorených aplikovaním menšej náhodnej chyby (konkrétne +/- 2 m).

Obrázok 53 zobrazuje rozdiel vo výstupe spôsobený odlišnou voľbou parametra maximálnej hrúbky vstupnej línie pri použití funkcie *Thin*. Červená línia predstavuje výsledok funkcie *Thin* pri ponechaní implicitnej hodnoty. Tento výsledok pôsobí vyhladenejšie ako výsledok vytvorený s hodnotou parametra nastavenou na 10 (zelená línia). Výsledok s menšou hodnotou poskytuje väčší detail výslednej odvodňovacej siete. Oba výsledky sú správne. Voľba parametra teda záleží už na konkrétnych podmienkach s akými by mala byť výsledná línia vygenerovaná. Pre jednotnosť zobrazených výstupov bola pre vytvorenie všetkých výsledkov použitá implicitná hodnota parametru.



Obrázok 53: Rozdielny výsledkoch funkcie *Thin* pri použití odlišných hodnôt pre maximálnu hrúbku línie

Na obrázku 54 je už možné vidieť jednotlivé výsledky postupu pre rôzne vygenerované sady vstupných dát. Už z vizuálneho porovnania je možné tvrdiť, že postup produkuje takmer identické výsledky pre hornaté oblasti. V rovinatej oblasti sa však kvalita výsledku líši pre rôzne vstupné dáta. Najkvalitnejšie výsledky poskytol postup pre dáta vytvorené v 100 opakovaníach s náhodnou chybou ± 2 m. Relatívne dobré výsledky v rovinatej oblasti poskytol postup taktiež pre dáta s náhodnou chybou opäť ± 2 m, ale vytvorené v 30 opakovaníach cyklu. Výsledky vytvorené nad dátami, na ktoré bola aplikovaná chyba ± 10 m, nie sú kvalitné.

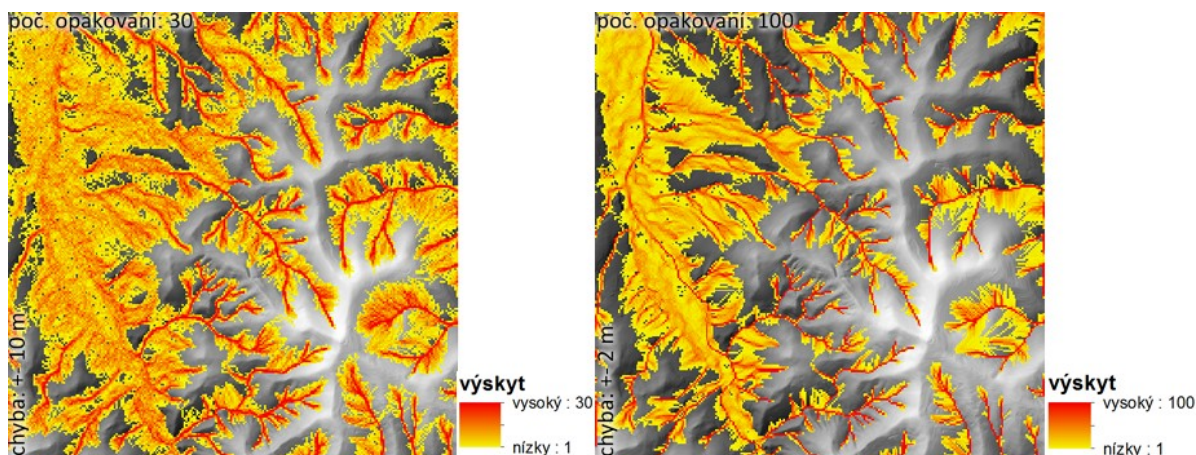


Obrázok 54: Výsledky testovania postupu č. 1 nad DMR z DMÚ 25

Podobné výsledky je možné očakávať aj v prípade použitia odlišného digitálneho modelu reliéfu. Z dôvodu otestovania aj tohto tvrdenia a teda aj použiteľnosti postupu nad viacerými typmi dát, boli vytvorené nové sady dát s rovnakými parametrami, ale nad DMR, ktoré pochádza z projektu Floreon+.

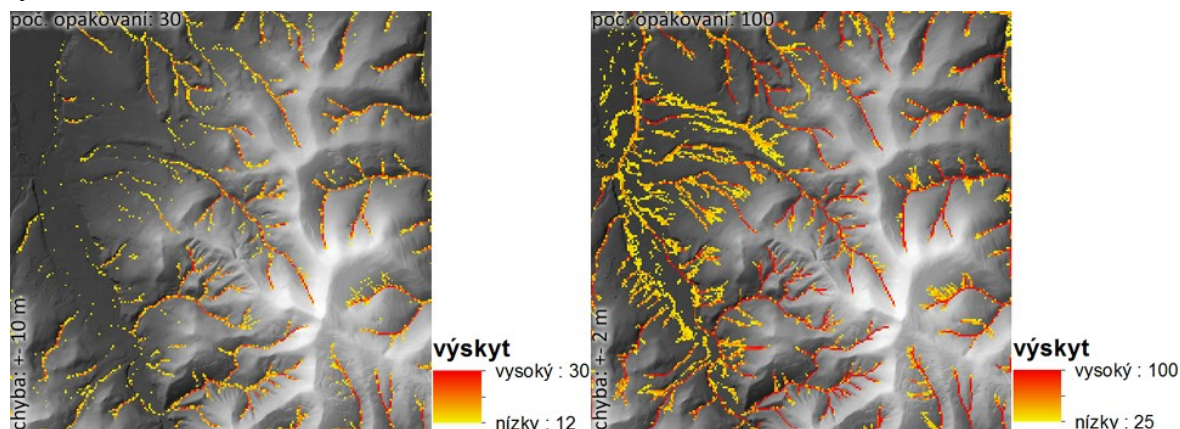
Na obrázku 55 sú zobrazené vstupné dáta vygenerované nad DMR z projektu Floreon+. Z dôvodu šetrenia miesta sú na obrázku zobrazené len dáta vytvorené v 30 opakovaníach s chybou 10 m (ľavá strana) a v 100 opakovaníach s chybou 2 m (pravá strana). Testovanie však prebehlo pre všetky štyri vygenerované dátové sady. Tieto dve dátové sady postačujú na overenie tvrdení o použiteľnosti postupu, ktoré vznikli v predchádzajúcej časti testovania. Z obrázku je opäť vidieť, že v prípade dát vygenerovaných s väčšou chybou sa v rovinatej oblasti vyskytujú bunky, ktorých hodnoty výskytu nie sú príliš odlišné. To znova znamená nízku kvalitu výsledku v tejto oblasti. Naopak v prípade použitia dát vygenerovaných s menšou chybou je možné aj v rovinatej

oblasti sledovať výraznú líniu zloženú z buniek s hodnotami výskytu výrazne vyššími ako v ich okolí. Extrakcia by mala teda byť v tejto oblasti jednoduchšia a výsledok kvalitnejší. Výsledok opäť závisí na správnej voľbe prahovej hodnoty pre extrakciu dát.



Obrázok 55: Rozdiel vo vstupných dátach vygenerovaných s rôznymi parametrami nad DMR z Floreon+

Z obrázku 56 je vidieť to, že v prípade použitia dát vytvorených s väčšou chybou nie je takmer možné získať výslednú líniu pre rovinaté oblasti. Problémom pri extrakcii je správna voľba prahovej hodnoty. Aj veľmi malý rozdiel v tejto hodnote môže v konečnom dôsledku spôsobiť odlišné výsledky. Jedným z častých javov pri zmene prahovej hodnoty je napríklad strata spojitosti výslednej línie. Ak sa zameriame na riešenie jednej takejto nespojitosti, môže v dátach vzniknúť hneď niekoľko ďalších. Preto nie je vhodné voľbu prahovej hodnoty unáhliť ale je potrebné zvážiť všetky možnosti a požiadavky na výsledok.

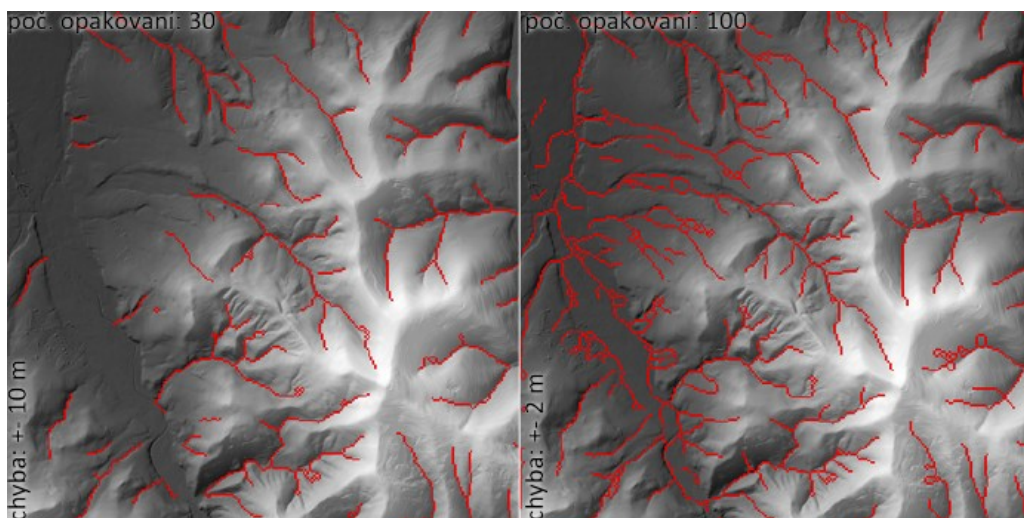


Obrázok 56: Extrahované hodnoty pre jednotlivé vstupné vrstvy zobrazené na obrázku 55

Výsledky postupu pre dáta vygenerované nad DMR z projektu Floreon+ sú zobrazené na obrázku 57. Použitelnosť postupu je rovnaká ako v predchádzajúcom prípade. Je teda možné potvrdiť, že testovaním bola dokázaná nezávislosť postupu na vstupnom teréne.

Na základe jednotlivých výsledkov, ktoré boli počas testovania dosiahnuté, je možné stanoviť optimálne podmienky, pri ktorých je možné postup použiť s čo najlepším výsledkom. Testovanie ukázalo, že postup poskytuje dobré výsledky v hornatých oblastiach takmer nezávisle na vstupných dátach. Pre použitie postupu pre extrakciu línie

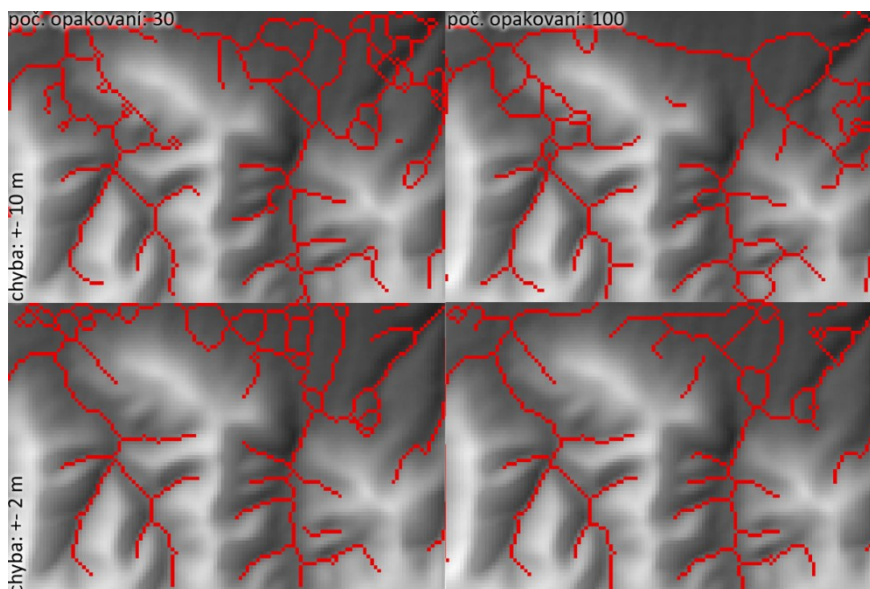
stoku vody z rozptýlených dát v rovinatých oblastiach je však najlepšie použiť vstupné dáta, ktoré vznikli vo väčšom počte opakovaní a s čo najmenšou náhodnou chybou. V opačnom prípade nie je postup pre tieto dáta takmer použiteľný.



Obrázok 57: Výsledky testovania postupu č. 1 nad DMR z projektu Floreon+

Testovanie postupu č. 2

Ďalším otestovaným postupom je pravdepodobne ten najjednoduchší postup č. 2. Najjednoduchším je preto, lebo nepracuje ako niektoré ďalšie postupy s počtom výskytov odvodňovacích sietí alebo napríklad s hustotou línií vo vstupných vrstvách. Jediným krokom postupu je aplikovanie funkcie *Thin* na vstupné dáta. Tie sú v tomto prípade rovnaké ako v predchádzajúcom postupe. Testovanie opäť prebiehalo nad sadami dát vygenerovanými nad DMR z DMÚ 25 a Floreon+.



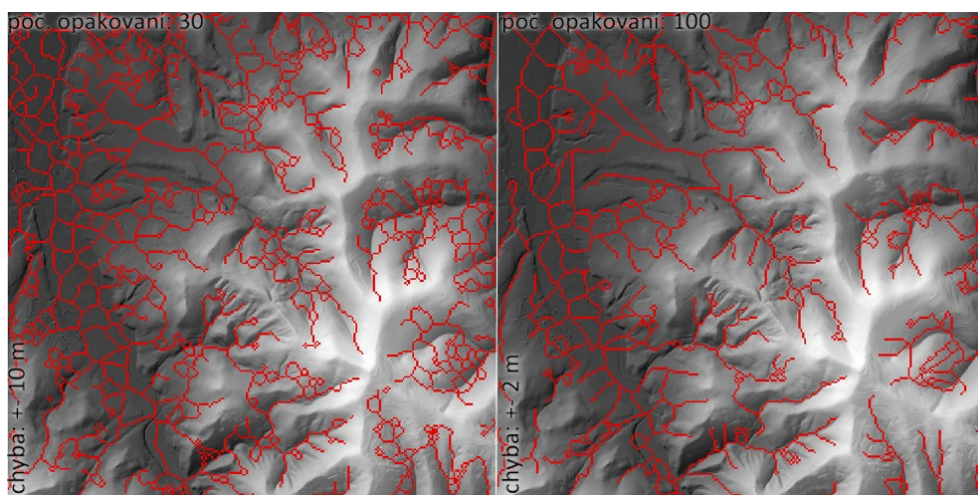
Obrázok 58: Výsledky testovania postupu č. 2 nad DMR z DMÚ 25

Vstupné dáta pre postup vygenerované nad DMR z DMÚ sú zobrazené na obrázku 50. Pre výsledky na obrázku 58 bola zvolená implicitná hodnota parametru maximálnej hrúbky

línie, ktorej hodnota bola konkrétne 502,5. Tento postup poskytuje relatívne dobré výsledky iba v hornatom teréne. Môže však dochádzať k chybám ako nespojitosť línií, poprípade sú línie spojené do uzavretej slučky. V rovinatých oblastiach je postup takmer nepoužiteľný.

Výsledky testovania nad dátami vygenerovanými nad DMR z projektu Floreon+ sú zobrazené na obrázku 59. Je vidieť, že výsledky funkcie *Thin* pre dáta vygenerované v 30 opakovaniach s chybou 10 m nie sú použiteľné vôbec. O mnoho lepšie výsledky neboli dosiahnuté ani pri použití dát vygenerovaných v 100 opakovaniach s chybou 2 m.

Na základe výsledkov testovania je teda možné tvrdiť, že postup neposkytuje príliš kvalitné výsledky. Kvalita výsledkov je pri použití dát vytvorených s menšou chybou mierne vyššia. Nie je to však výrazný rozdiel. Postup by teda nemal byť použitý pre získavanie výsledkov, ktoré by mali byť následne použité pre ďalšie analýzy alebo rozhodovanie.



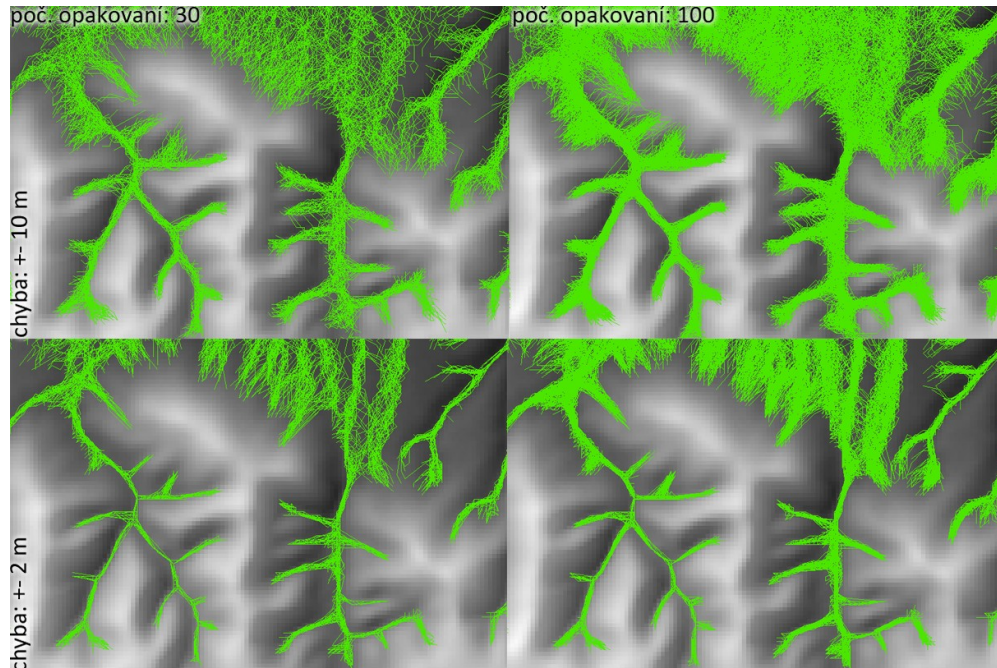
Obrázok 59: Výsledky testovania postupu č. 2 nad DMR z projektu Floreon+

Testovanie postupu č. 3

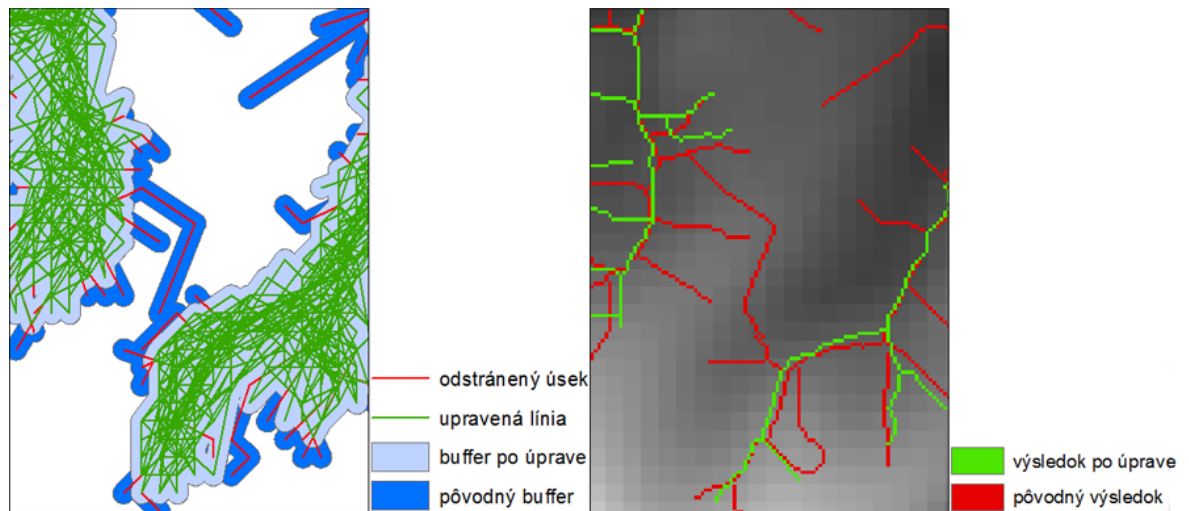
Ďalším z testovaných postupov je postup č. 3. Na rozdiel od predchádzajúcich postupov využíva ako vstupné dáta odvodňovacie siete vo vektorovej podobe. Na obrázku 60 sú zobrazené vstupné dáta pre tento postup vygenerované nad DMR z DMÚ 25. Už na základe pohľadu na dáta a na základe toho ako pracuje daný postup je možné predpokladať, že najlepšie výsledky budú dosiahnuté s dátami vygenerovanými s chybou ± 2 m v 30 opakovaniach.

Ešte pred samotným testovaním je potrebné poukázať na jeden problém, ku ktorému môže pri tomto postupe dochádzať. Tento problém bol už popísaný v kapitole 4.3.3. a zobrazený na obrázku 39. Niektoré odľahlé línie zo zhluku rozptýlených línií sa môžu nachádzať v blízkosti iného zhluku rozptýlených línií. Po vytvorení bufferu môže dôjsť k spojeniu týchto zhlukov iba na základe jednej odľahlej línie. To v konečnom dôsledku spôsobí uzavretie výslednej extrahovanej línie stoku vody. Tomuto problému je možné vo väčšine prípadov predísť použitím funkcie *Trim Line* na vstupné dáta. Táto funkcia

umožňuje odstrániť časti línií, ktoré vytŕčajú a ktoré nie sú spojené s inými líniami na oboch koncoch.



Obrázok 60: Rozdiel vo vstupných dátach vygenerovaných s rôznymi parametrami nad DMR z DMÚ 25

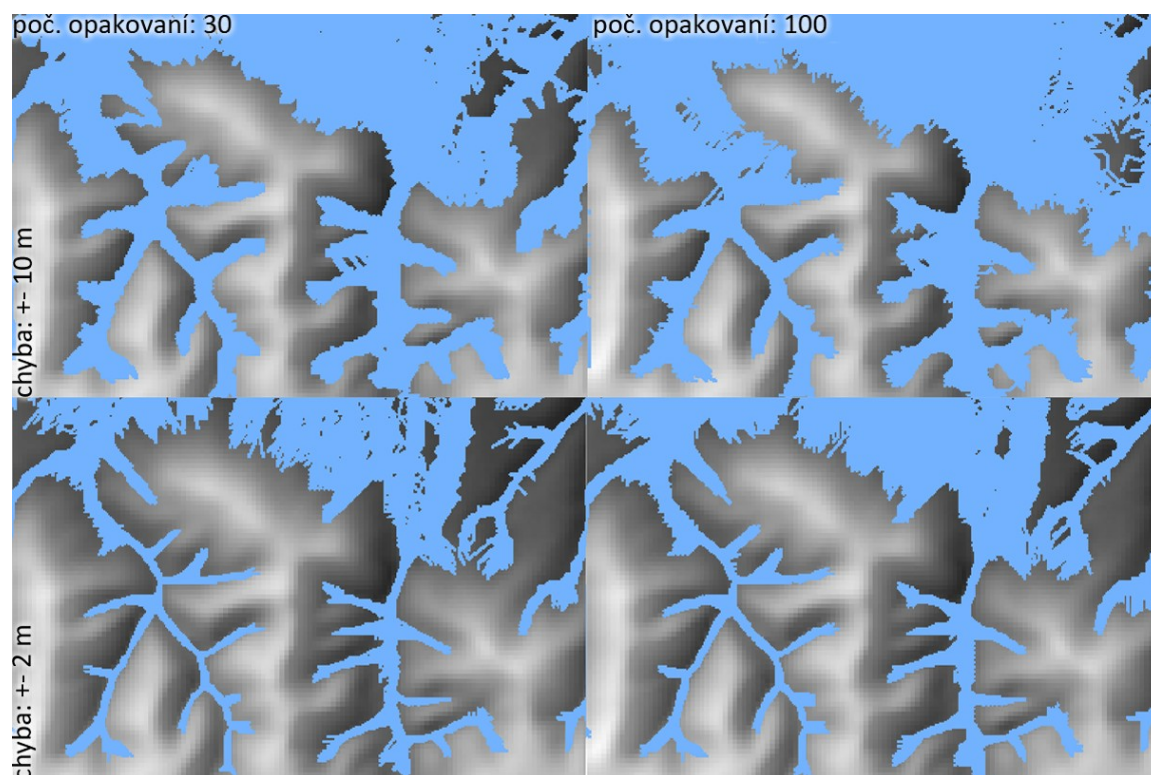


Obrázok 61: Odstránenie problému odľahlých línii

Na obrázku 61 je vidieť spomínaný problém. V ľavej časti obrázku je zobrazené spojenie dvoch zhlukov rozptýlených línii na základe jednej odľahlej línie. Červenou líniov sú zobrazené úseky línii, ktoré boli z pôvodných dát odstránené pomocou funkcie *Trim Line*. Je vidieť, že vytvorením bufferu z upravených dát už nedochádza k spojeniu jednotlivých zhlukov rozptýlených línii. V pravej časti obrázku sú zobrazené výsledné vyextrahované línie pomocou funkcie *Thin*. Výsledok získaný z upravených dát pôsobí prirodzenejšie ako v prípade výsledku získaného z pôvodných dát. Týmto spôsobom je možné sa vyvarovať väčšine problémov tohto typu. V niektorých prípadoch sa však

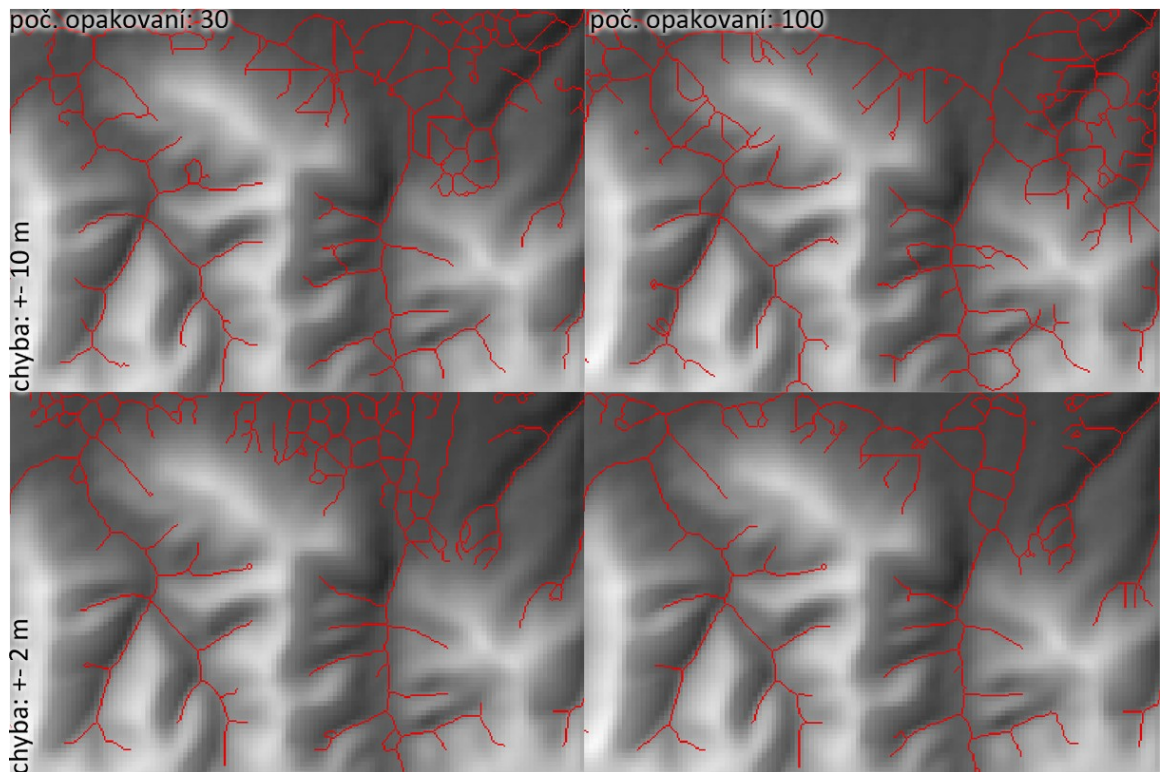
odľahlá línia môže druhým koncom dotýkať druhého zhluku rozptýlených línií. V takomto prípade funkcia *Trim Line* túto líniu neodstráni. Pre testovanie postupu bola každá vstupná sada dát upravená spomínanou funkciou, aby bola dosiahnutá vyššia kvalita výsledkov postupu.

Na obrázku 62 je už vidieť zobrazené výsledky funkcie *Buffer* pre vstupné dáta zobrazené na obrázku 60. Vo všetkých štyroch prípadoch bol buffer vytvorený do vzdialenosti 20 m od jednotlivých línií.



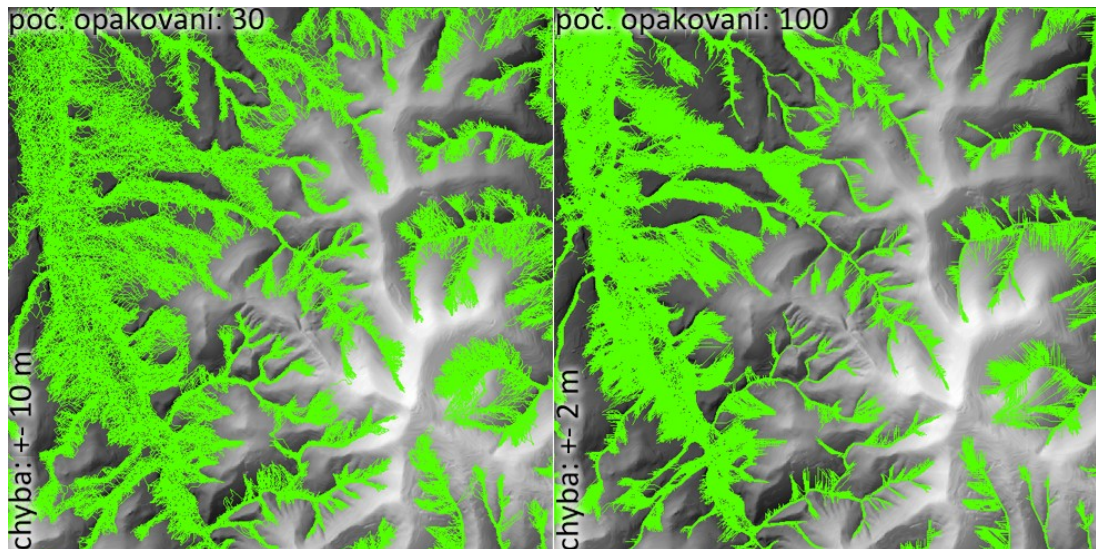
Obrázok 62: Výsledky funkcie *Buffer* pre vstupné dáta zobrazené na obrázku 60

Z výsledkov testovania zobrazených na obrázku 63 je vidieť podobnosť s predchádzajúcim postupom č. 2. Postup poskytuje dobré výsledky len v prípade hornatých oblastí. V prípade rovinatých oblastí je postup podobne ako predchádzajúci takmer nepoužiteľný. To je spôsobené tým, že postup nepracuje so žiadnou informáciou, ktorú môžu vstupné dáta poskytnúť, ale len s ich priestorovým rozmiestnením.



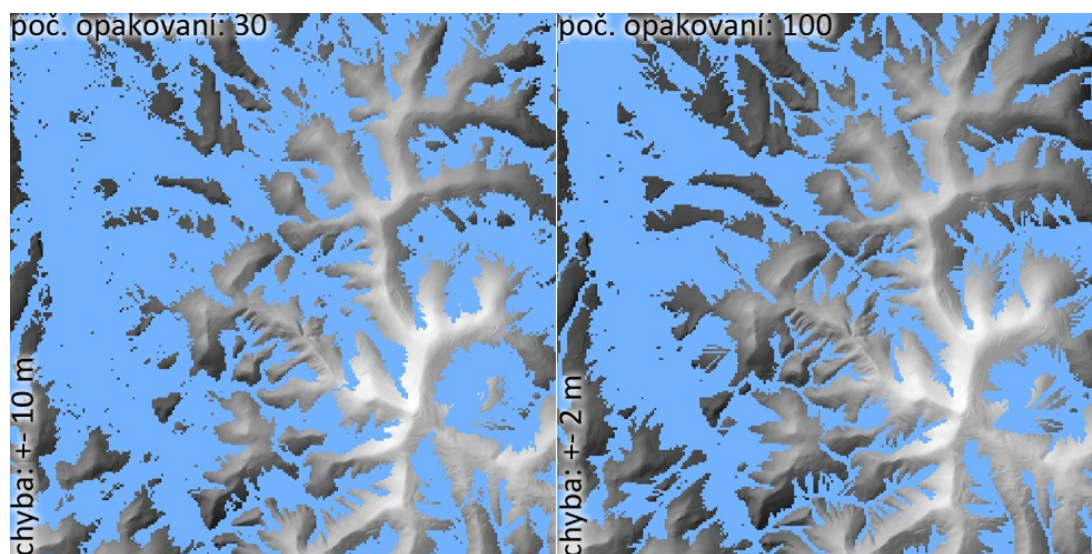
Obrázok 63: Výsledky testovania postupu č. 3 nad DMR z DMÚ 25

Na obrázku 64 sú zobrazené dáta, ktoré boli použité ako vstup pre testovanie nad DMR z projektu Floreon+. V ľavej časti sa nachádzajú dáta vygenerované v 30 opakovaníach s chybou ± 10 m, zatiaľ čo v pravej časti sú zobrazené dáta vygenerované v 100 opakovaníach s chybou ± 2 m.



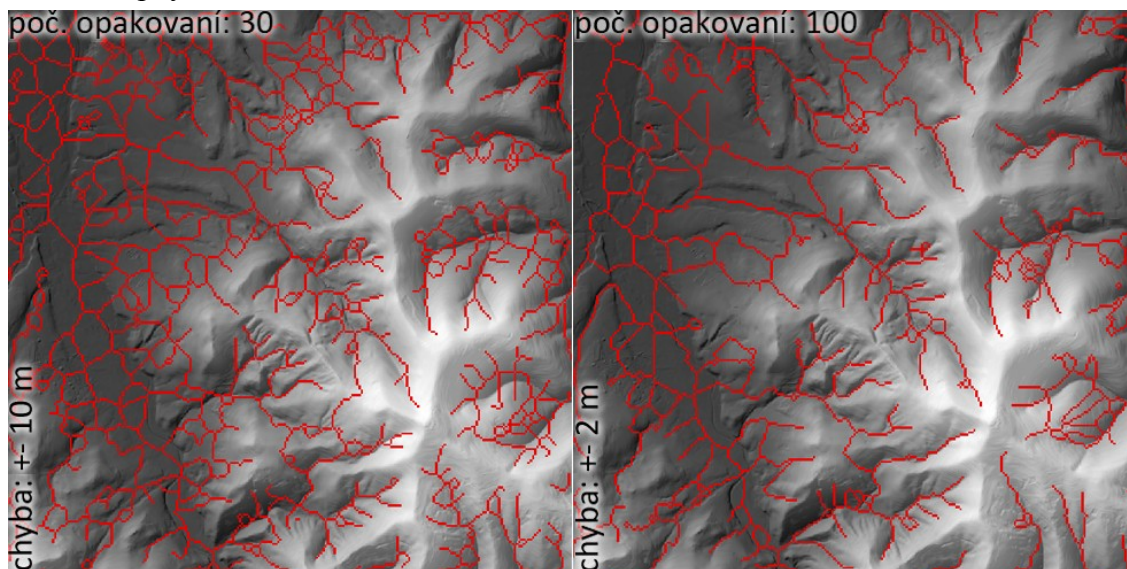
Obrázok 64: Rozdiel vo vstupných dátach vygenerovaných s rôznymi parametrami nad DMR z Floreon+

Obrázok 65 zobrazuje buffer, ktorý bol vytvorený okolo dát zobrazených na obrázku 64 do vzdialenosti 20 m. Buffer bol opäť konvertovaný do rastrovej podoby, čo umožnilo následne použiť funkciu Thin.



Obrázok 65: Výsledky funkcie Buffer pre vstupné dáta zobrazené na obrázku 64

Výsledky použitia funkcie *Thin* a zároveň aj celkové výsledky postupu sú zobrazené na obrázku 66. Je vidieť, že v rovinatých oblastiach sú výsledky, bez ohľadu na použité vstupné dáta, nekvalitné. Výsledná línia je v hornatých oblastiach kvalitnejšia v prípade dát vygenerovaných s menšou náhodnou chybou, čo spôsobuje pravdepodobne menší rozptyl línií vo vstupných dátach.

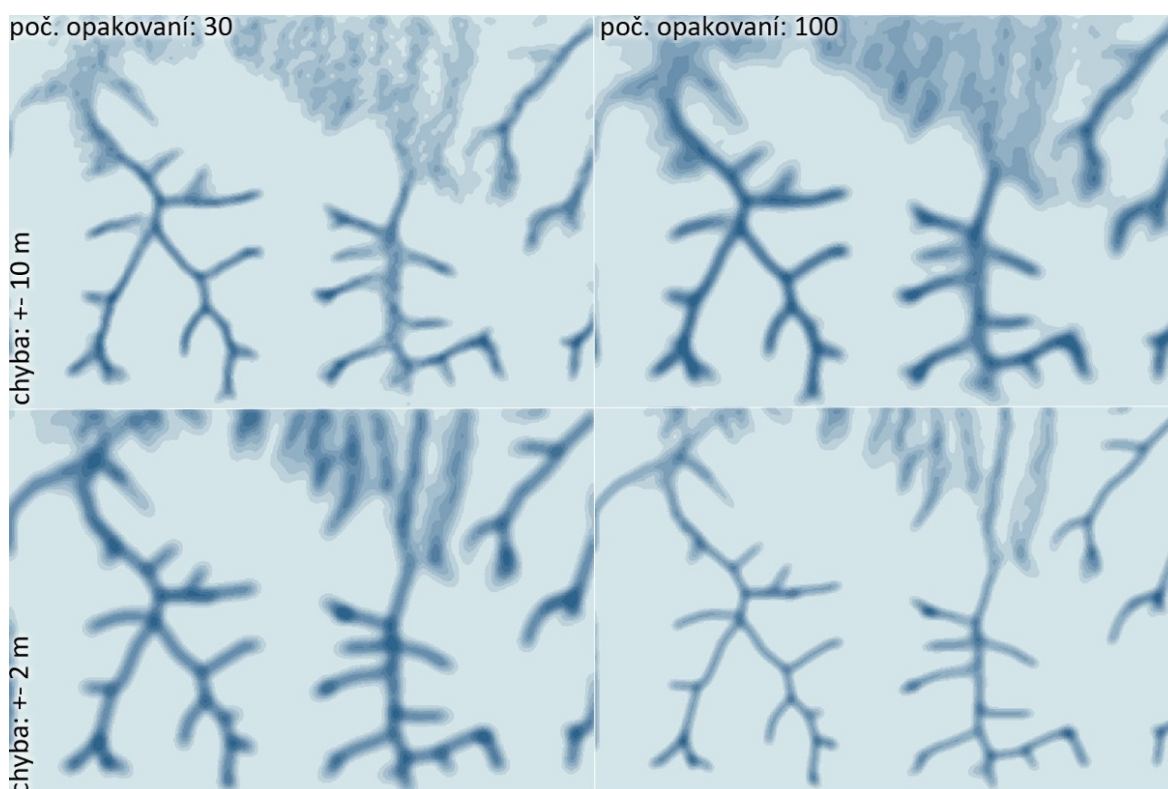


Obrázok 66: Výsledky testovania postupu č. 3 nad DMR z projektu Floreon+

Po otestovaní postupu nad všetkými vygenerovanými sadami dát je možné tvrdiť, že postup je možné použiť len pre extrakciu línie stoku vody v hornatých oblastiach. Pre rovinaté oblasti je tento postup takmer nepoužiteľný a neodporúča sa ho teda pre extrakciu používať. Funkcionalitou aj výsledkami je postup veľmi podobný postupu č. 2. Preto je tento postup možné považovať za alternatívu k postupu č. 2, ktorá využíva vektorové vstupné dáta namiesto rastrových.

Testovanie postupu č. 4

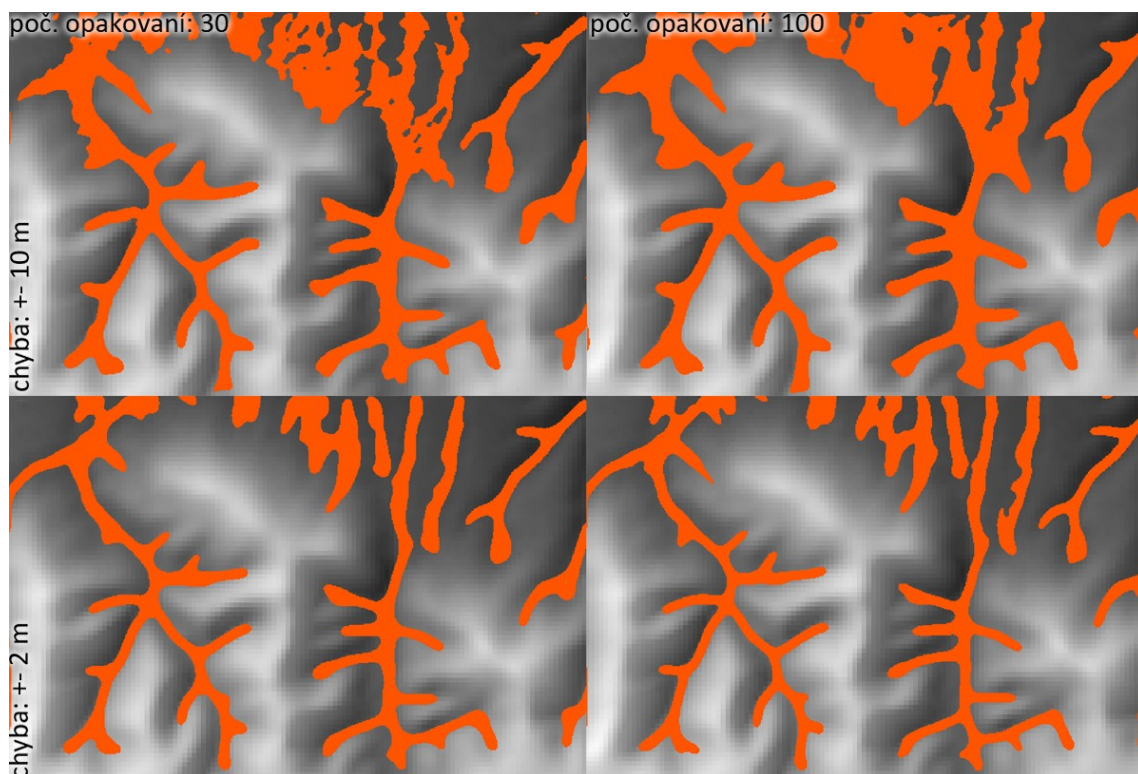
Ďalším testovaným postupom je postup, ktorý využíva funkciu *Kernel Density* pre určenie hustoty vstupných línií. Na základe tejto hustoty následne umožňuje vygenerovať výslednú líniu stoku vody. Postup ako aj jeho funkcie a dôležité parametre boli detailne popísané v kapitole 4.3.4.. Tento postup využíva rovnaké vstupné dáta ako predchádzajúci postup (obrázok 60). Dajú sa predpokladať výsledky podobné ako poskytuje postup č. 1. Postup rovnako pracuje s informáciami o počte výskytov vstupných, avšak len v mierne odlišnej forme. Na základe tejto podobnosti je teda možné predpokladať aj to, pre aké vstupné dáta bude postup poskytovať najlepšie výsledky. Keďže postup č. 1 poskytoval najlepšie výsledky pre dáta vygenerované vo väčšom počte opakovaní s čo najmenšou chybou, predpokladá sa, že takto vytvorené dáta budú predstavovať optimálne vstupné dáta aj pre aktuálny postup. Toto tvrdenie bude počas testovania overené.



Obrázok 67: Výsledky funkcie *Kernel Density* pre dáta zobrazené na obrázku 60

Na obrázku 67 sú zobrazené výsledky funkcie *Kernel Density* pre vstupné dáta zobrazené na obrázku 60. Obrázok neobsahuje legendy z toho dôvodu, že viac ako samotné hodnoty hustoty je pre postup dôležité priestorové rozloženie týchto hodnôt. Zaujímá nás teda to kde sa najväčšia hustota nachádza a nie hodnota najväčšej hustoty. Pre vytvorenie zobrazených výstupov boli použité rozdielne vzdialenosti pre vyhľadávanie. Pre každú sadu vstupných dát bolo otestovaných hneď niekoľko vzdialeností a následne bola zvolená tá najvhodnejšia. Nad vstupnými dátami vytvorenými v 30 opakovaniach s chybou ± 10 m bola vykonaná funkcia s vzdialenosťou vyhľadávania 80 m. V prípade rovnakého počtu opakovaní s chybou ± 2 m bola zvolená implicitná hodnota parametru

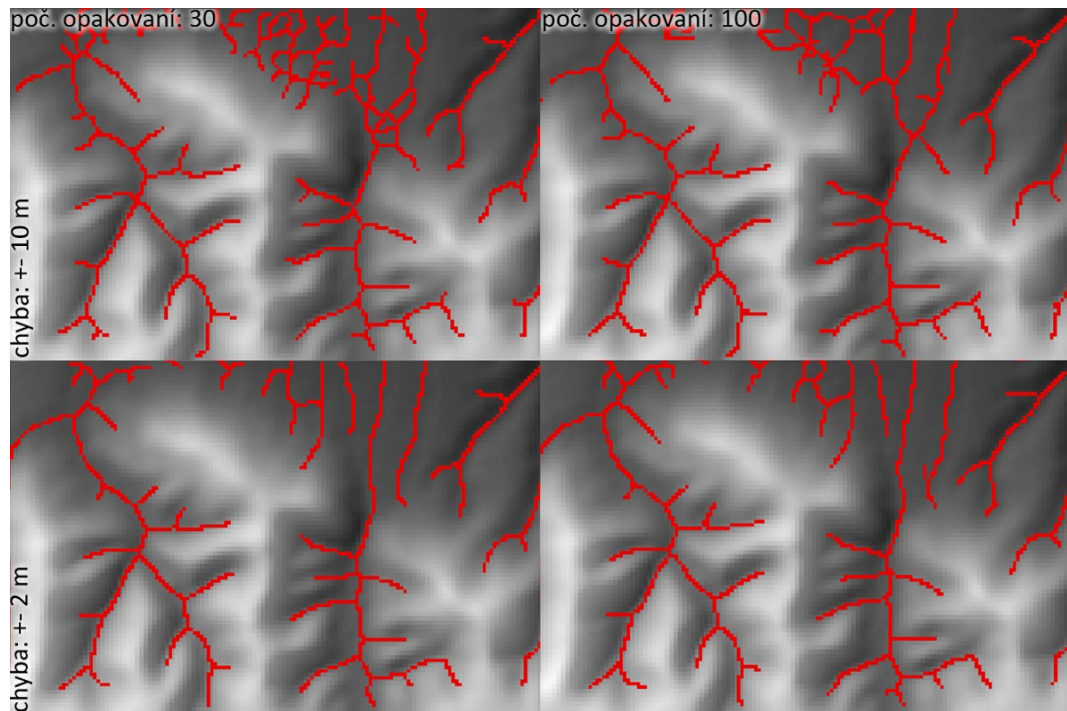
(139 m). Pre dáta vygenerované v 100 opakovaniach s chybou ± 10 m bola zvolená vzdialenosť 100 m. Vzdialenosť pre poslednú sadu dát vytvorenú v 100 opakovaniach s chybou ± 2 m bola stanovená taktiež na 100 m. Pred ďalším krokom postupu je teda vhodné otestovať niekoľko rôznych hodnôt parametra a následne zvoliť ten, s ktorým funkcia poskytuje najlepší výstup vhodný pre následnú extrakciu výslednej línie stoku vody.



Obrázok 68: Výsledky reklasifikácie dát z obrázku 67

Na obrázku 68 sú už zobrazené výsledky funkcie *Kernel Density*, ktoré prešli reklasifikáciou. Reklasifikácia prebiehala na základe vizuálneho posúdenia výstupov. Z obrázku je vidieť, že podobne ako v prípade postupu č. 1, najlepšie výsledky budú dosiahnuté z dát, ktoré vznikli s čo najmenšou náhodnou chybou (spodná časť obrázku 68). Už z výsledkov reklasifikácie je možné tvrdiť, že v prípade dát vygenerovaných s chybou ± 10 m bude v rovinných oblastiach extrakcia výslednej línie výrazne nekvalitnejšia.

Po úspešnej reklasifikácii nasleduje posledný krok, ktorým je aplikovanie funkcie *Thin*. Výsledok (obrázok 69) potvrdzuje tvrdenie z úvodu testovania. Postup teda produkuje výsledky podobne ako postup č. 1. Optimálnymi vstupnými dátami pre tento postup sú dáta vygenerované s čo najmenšou chybou. Keďže medzi výsledkami získanými z dát vygenerovaných s touto chybou v 30 a 100 opakovaniach nie je takmer žiadny rozdiel, je možné tvrdiť, že v prípade tohto postupu tak výrazne na počte opakovaní nezáleží.



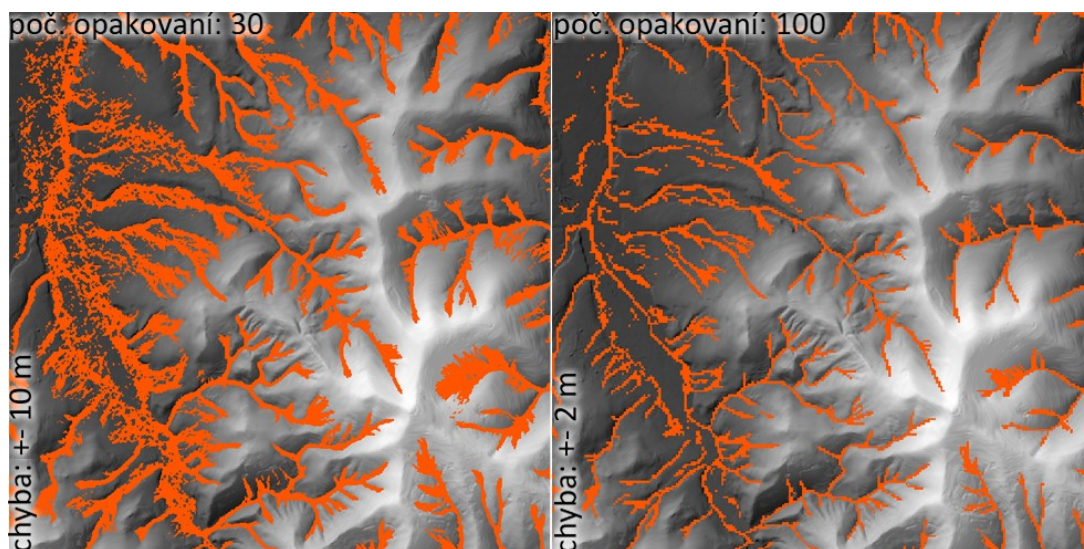
Obrázok 69: Výsledky testovania postupu č. 4 nad DMR z DMÚ 25

Testovanie prebiehalo podobne ako v predchádzajúcich prípadoch aj nad DMR, ktoré pochádza z projektu Floreon+. Výsledok funkcie *Kernel Density* nad testovanými dvoma sadami dát je zobrazený na obrázku 70. Z výsledkov je vidieť, že v prípade dát vytvorených s väčšou chybou je hustota línií v rovinatej oblasti nižšia, pretože línie sú pri tejto chybe generované s väčším rozptylom. Naopak v prípade dát s menšou náhodnou chybou nie je rozptyl jednotlivých generovaných línií tak výrazný. To je možné vidieť aj v pravej časti obrázku, kde aj v rovinatej oblasti väčšina línií dodržiava určitý trend, čo sa prejaví vo výslednej hustote, ktorá je v týchto miestach výrazne vyššia ako v okolí. To umožňuje dosiahnuť podstatne lepšie výsledky ako v prípade použitia dát s väčšou náhodnou chybou.

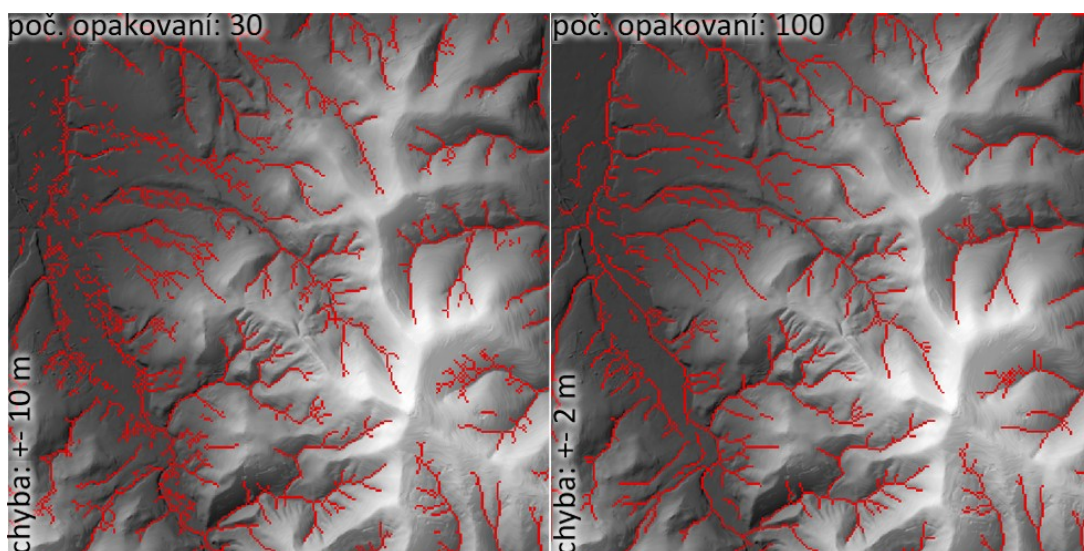


Obrázok 70: Výsledky funkcie *Kernel Density* pre dáta zobrazené na obrázku 64

Na obrázku 72 sú už zobrazené výsledky postupu vytvorené funkciou Thin, ktoré boli extrahované z dát vygenerovaných nad DMR z projektu Floreon+. V oboch prípadoch bola pri funkcii Thin použitá hodnota 20 pre parameter maximálnej hrúbky vstupných línií. Z obrázku je vidieť, že postup poskytuje kvalitné výsledky aj v prípade použitia odlišného DMR a odlišnej záujmovej oblasti. Taktiež je viditeľný výrazný rozdiel vo výsledkoch v rovinatej oblasti. V prípade dát s väčšou chybou nie je možné hovoriť o výslednej línii stoku vody. Ani výsledok získaný nad dátami s menšou náhodnou chybou však nie je dokonalý. Na niektorých miestach dochádza k nespojitostiam línií. To je pravdepodobne možné odstrániť použitím odlišnej prahovej hodnoty pre reklasifikáciu. Tým je možné odstrániť niektoré problémy, ale zároveň môžu vzniknúť nové.



Obrázok 71: Výsledky reklasifikácie dát z obrázku 70



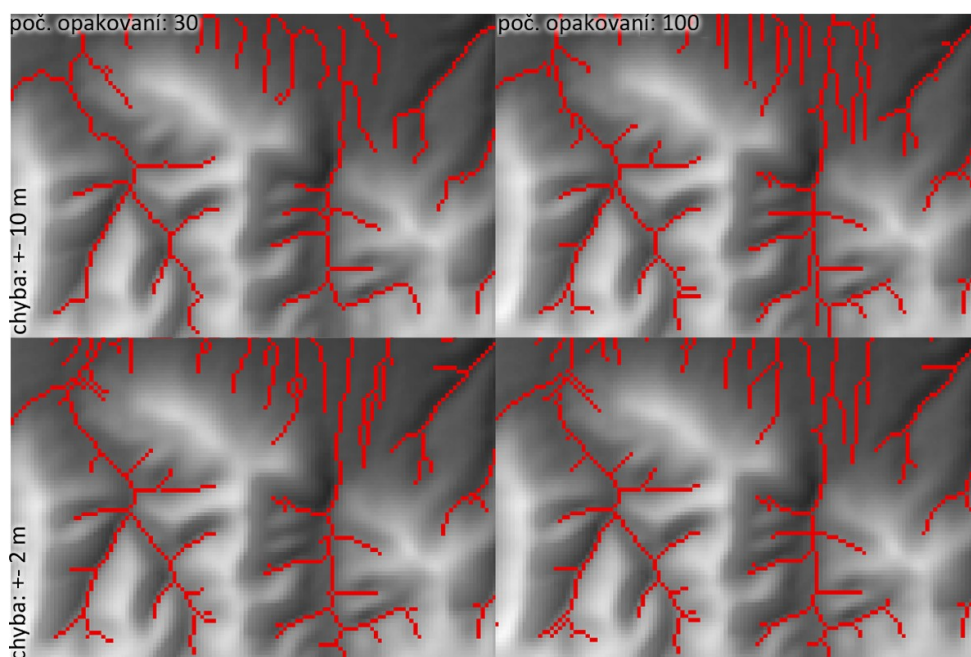
Obrázok 72: Výsledky testovania postupu č. 4 nad DMR z projektu Floreon+

Testovaním boli dokázané tvrdenia z úvodu testovania postupu. Postup teda pracuje podobne ako predchádzajúci postup č.1. Okrem podobnosti v princípe práce sa postupy podobajú aj výsledkami. Tento postup poskytuje najlepšie výsledky rovnako ako predchádzajúci pri použití vstupných dát vygenerovaných s čo najmenšou chybou. Tento postup je teda možné považovať za alternatívu k postupu č. 1, ktorá však pracuje s vektorovými vstupnými dátami.

Testovanie postupu č. 5

Posledným testovaným postupom je postup, ktorý využíva funkciu *Cell Statistics*. Ako už bolo spomínané v kapitole 4.3.5., tento postup je výrazne odlišný od predchádzajúcich testovaných postupov. Ako vstupné dáta pre postup slúžia jednotlivé rastre so smermi stoku vody vygenerované počas analýzy stoku vody. Pomocou funkcie *Cell Statistics* sa spracuje náhodná zložka už na úrovni týchto rastrov. Následne je možné vykonať ďalšie kroky analýzy stoku vody už len nad jednou vrstvou. Tým odpadá potreba extrakcie línie stoku vody z rozptýlených dát, pretože rozptýlené dáta tvorené líniami stoku vody vôbec nevzniknú. Na základe toho je možné tvrdiť, že kvalita výsledkov postupu nie je závislá na vstupných dátach. Výsledok nie je ovplyvnený počtom výskytov jednotlivých vstupných línii, ich hustotou alebo rozptylom v priestore. Preto by mal byť výsledok rovnako kvalitný v hornatých ako aj v rovinatých oblastiach. Tieto tvrdenia budú počas testovania overené.

Pravdepodobne nemá význam ukazovať jednotlivé vytvorené rastre so smermi stoku, pretože sa v nich nevyskytujú rozdiely spôsobené odlišným počtom opakovaní alebo rôznou náhodnou chybou. Jediné rozdiely v jednotlivých rastroch sú spôsobené tým, že chyby aplikované na DMR sa generujú náhodne, čím môžu spôsobiť odlišnosti v jednotlivých smeroch stoku vody.



Obrázok 73: Výsledky testovania postupu č. 5 nad DMR z DMÚ 25

Na obrázku 73 sú zobrazené výsledky postupu pre dáta vygenerované nad DMR z DMÚ 25. Na každý výsledok bola ešte aplikovaná funkcia *Thin*, pretože niektoré z vygenerovaných výsledných línií mali hrúbku väčšiu ako jedna bunka. Tvrdenie, ktoré bolo uvedené v úvode testovania tohto postupu, je teda pravdivé. Z výsledkov je vidieť, že postup poskytuje rovnako kvalitné výsledky bez ohľadu na použité vstupné dáta. Nezáleží na počte opakovaní alebo na veľkosti náhodnej chyby. Je však treba podotknúť, že pod pojmom kvalita nie je v tomto prípade myslená napríklad zhoda výsledkov s priebehom vodných tokov. Kvalitou je myslená kvalita priebehu výsledných línií v porovnaní s výsledkami predchádzajúcich postupov. Teda napríklad fakt, že v rovinatých oblastiach sa nevyskytujú rôzne uzavreté línie, ktoré neodpovedajú skutočnosti. Na rozdiel od predchádzajúcich postupov, ktoré poskytujú rôzne kvalitné výsledné línie pri použití rôznych vstupných dát, tento postup poskytuje kvalitné výsledné línie pre ľubovoľné dáta vďaka spracovaniu náhodnej zložky už v úvode analýzy stoku vody. Pre tento postup nie je teda možné určiť optimálne dáta, pri ktorých funguje najlepšie, pretože je nezávislý na vstupných dátach. To je jeho najväčšou výhodou oproti ostatným navrhnutým postupom. Celkovo je teda možné postup č. 5 považovať za najlepší z vytvorených postupov.

Kvalita vygenerovaného stoku vody však bude zhodnotená v nasledujúcej kapitole, kde budú výsledky jednotlivých postupov zhodnotené na základe porovnaní s priebehom vodných tokov v daných oblastiach. V tomto prípade je možné očakávať, že kvalita bude závislá na vstupných dátach aj v prípade posledného navrhnutého postupu, pretože s väčšou chybou v dátach bude pravdepodobne rásť aj rozdiel vygenerovaných výsledkov a vodných tokov.

5 ZHODNOTENIE KVALITY ZÍSKANÝCH VÝSLEDKOV

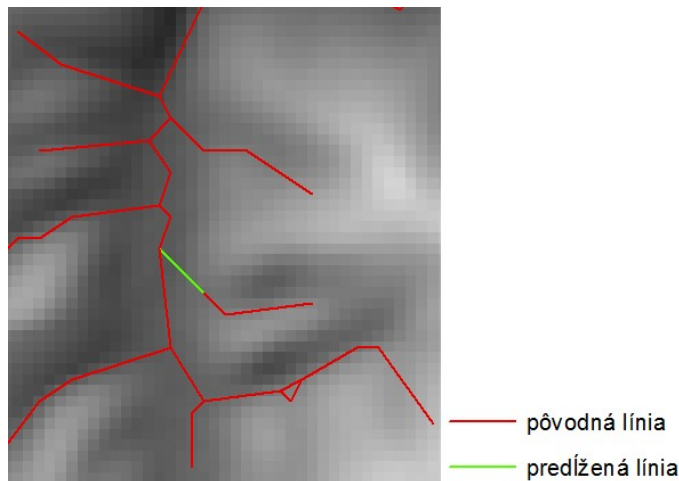
Na základe testovania jednotlivých postupov nad rôznymi sadami dát bolo možné stanoviť optimálne podmienky, pri ktorých postupy poskytujú najlepšie výsledky. Väčšina postupov je aspoň z časti závislá na použitých vstupných dátach. Presnejšie povedané na tom s akou veľkou náhodnou chybou a v akom počte opakovaní sú vstupné dáta vygenerované. Len jeden postup je takmer nezávislý na vstupných dátach a to konkrétne posledný navrhnutý postup č. 5, ktorý využíva funkciu *Cell Statistics*. V tabuľke 3 sú zobrazené stanovené optimálne podmienky pre jednotlivé postupy. Okrem už spomínanej závislosti na vstupných dátach, sú pre jednotlivé postupy stanovené taktiež typy oblastí, pre ktoré poskytujú použiteľné výsledky. Tri z piatich postupov pri použití optimálnych vstupných dát poskytujú kvalitné výsledky bez ohľadu na to, či sa jedná o hornatý alebo rovinatý terén. Postupy, ktoré nie sú v rovinatých oblastiach použiteľné, nepracujú s informáciami, ktoré môžu vstupné dáta poskytnúť ale iba s ich priestorovým rozmiestnením. V tabuľke sú taktiež uvedené typy vstupných dát, s akými postupy pracujú. Postupy v tabuľke sú uvedené v poradí v akom boli navrhnuté, testované a opísané v práci.

Tabuľka 3: Optimálne podmienky pre navrhnuté postupy

	veľkosť chyby	počet opakovaní	závislosť na vstupných dátach	typ oblasti	typ vstupných dát
postup 1	nízka	vysoký	áno	hornatá, rovinatá	rastrové
postup 2	nízka	nezáleží	áno	iba hornatá	rastrové
postup 3	nízka	nezáleží	áno	iba hornatá	vektorové
postup 4	nízka	vysoký	áno	hornatá, rovinatá	vektorové
postup 5	nezáleží	nezáleží	nie	hornatá, rovinatá	rastrové

Ako už bolo spomenuté, testovaním boli stanovené optimálne podmienky pre postupy. To však nie je možné považovať za zhodnotenie kvality jednotlivých postupov. Jedným z javov, ktorý znižuje kvalitu výsledkov, je nespojitosť výstupných línií. Tento jav sa môže vyskytovať pri každom z navrhnutých postupov s výnimkou pravdepodobne posledného postupu. Nespojitosť sa prejavuje po extrakcii výslednej línie stoku vody. Môže ju spôsobiť napríklad výrazne vyšší rozptyl vstupných línií v určitom mieste, ktorý môže byť daný tvarom povrchu v danom mieste. Ak je toto miesto obklopené oblasťami, kde rozptyl línií nie je tak výrazný, môže to vo výsledku spôsobiť to, že hustota línií alebo počet výskytov v danom mieste bude výrazne nižší ako v okolí a nebude zaradený do výslednej línie. ArcGIS však obsahuje funkciu, ktorá dokáže tento problém vyriešiť. Jedná sa konkrétne o funkciu *Extend Line*, ktorá sa nachádza v toolboxe *Editing*. Hlavnou úlohou tejto funkcie je predĺženie líniových segmentov k najbližšiemu pretínajúcemu prvku do definovanej vzdialenosti. V prípade, že nie je zadaná maximálna vzdialenosť, do ktorej môže byť líniový segment predĺžený k najbližšiemu pretínajúcemu prvku, predĺži sa línia k najbližšiemu prvku bez ohľadu na vzdialenosť. Línia sa môže predĺžiť aj k sebe samej,

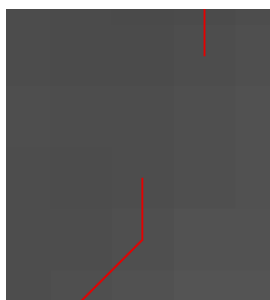
ak je najbližším pretínajúcim prvkom [22]. Pri použití tejto funkcie však treba mať na pamäti to, že výsledkom nie sú nové dáta, ale funkcia len modifikuje vstupné dáta. Funkcia vyžaduje ako vstupné dáta vektorové línie. Z toho dôvodu je potrebné výsledky postupov v prípade korekcie nespojitostí konvertovať na polylínie.



Obrázok 74: Výsledok funkcie *Extend Line*

Na obrázku 74 je zobrazený výsledok opravy nespojitostí vo výslednej línii s využitím funkcie *Extend Line*. Červenou farbou sú zobrazené vstupné línie, ktoré sú výsledkom jedného z navrhnutých postupov. Zelenou farbou je zobrazený úsek, ktorým bola pripojená línia k zvyšku dát a tým bol opravený problém nespojitosti. Pri korekcii nespojitostí je však potrebné dávať pozor na to, aby týmto spôsobom neboli spojené aj línie, ktoré by spojené byť nemali. K tomu môže dôjsť ak sa dve línie, ktoré nemajú byť spojené, nachádzajú od seba do vzdialenosti, ktorá bola nastavená ako maximálna pre predĺženie odľahlých línii k najbližším pretínajúcim línii. Problémom pri použití tejto funkcie môže byť to, že nedokáže predĺžiť alebo spojiť línie, ktoré sú napríklad rovnobežné. Všeobecne sa jedná o línie, ktoré sa ani po predĺžení nepretnú.

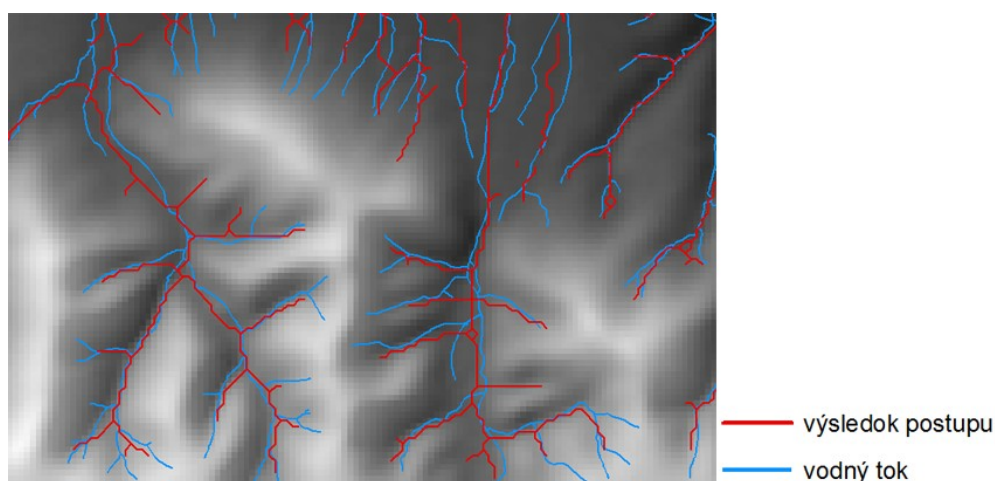
Použitím tejto funkcie teda nie je možné úplne vyriešiť problém nespojitosti, ak sa v dátach vyskytujú línie podobné tým, ktoré sú zobrazené na obrázku 75.



Obrázok 75: Línie, ktoré nie je možné spojiť funkciou *Extend Line*

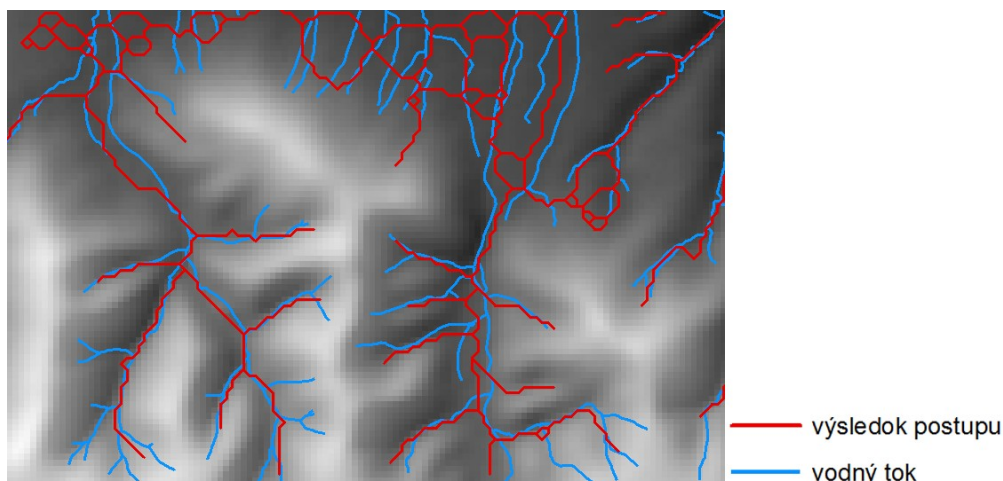
Po opravení drobných nedokonalostí výsledkov postupov je potrebné zhodnotiť ich kvalitu. Jednou z možností je porovnať získané výsledky s dátami predstavujúcimi riečnu sieť. Je jasné, že aj keby boli výsledky akokoľvek kvalitné, nebudú sa zhodovať s riečnou sieťou v každom mieste. Výsledky totižto zobrazujú povrchový odtok vody, ktorý nemusí

predstavovať vodný tok. Je však možné očakávať, že voda stekajúca po povrchu by sa v konečnom dôsledku do vodného toku dostala. Ďalší z dôvodov spôsobujúci prípadné odlišnosti vyplýva priamo z podstaty riešenia diplomovej práce. Keďže výsledky jednotlivých postupov pochádzajú z dát, na ktoré bola aplikovaná náhodná chyba určitej veľkosti, je možné očakávať odlišnosti v priebehu jednotlivých línií. Najvýraznejšie odlišnosti je možné očakávať v rovinatých oblastiach, kde aj malý rozdiel v nadmorskej výške v určitom mieste môže spôsobiť výraznejší rozdiel v priebehu línie. Preto je vhodné zistiť do akej miery sa získané výsledky zhodujú s priebehom vodných tokov v miestach ich výskytu. K tomu boli využité dáta z DIBAVOD, ktoré boli popísané v kapitole 2.2.. Priebeh vodných tokov vo zvolených záujmových oblastiach je možné vidieť v mape 2. Jednou z možností porovnania výsledkov s priebehom vodných tokov je jednoduché vizuálne porovnanie na základe spoločného zobrazenia oboch vrstiev. Pre zhodnotenie kvality výstupov, ktoré jednotlivé postupy poskytujú, boli zvolené najlepšie dosiahnuté výsledky jednotlivých postupov. Zhodnotenie kvality obsiahnuté v tejto kapitole bude vykonané iba nad dátami vytvorenými nad DMR z DMÚ 25. Zhodnotenie nie je nutné vykonať aj pre dáta vytvorené nad DMR pochádzajúceho z projektu Floreon+, pretože testovaním bolo dokázané, že postupy nie sú závislé na konkrétnej oblasti testovania ani na použitom vstupnom digitálnom modeli reliéfu.



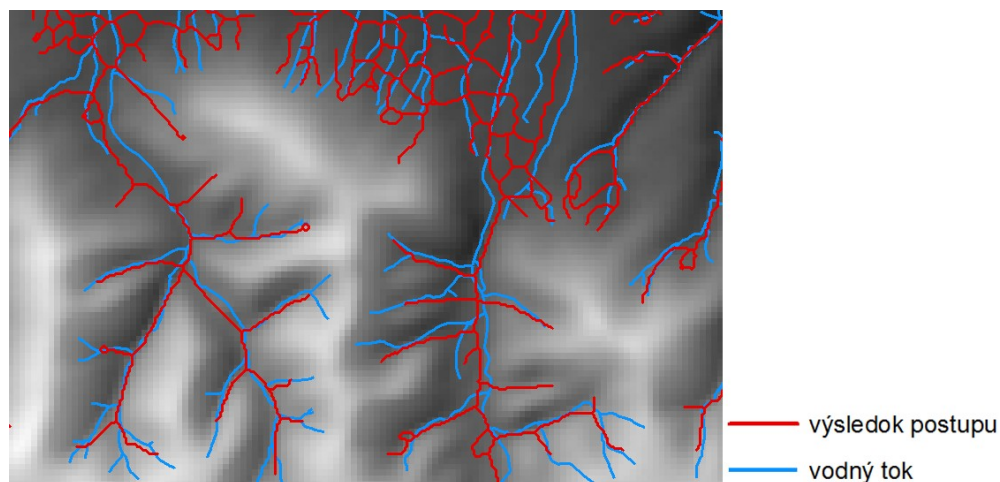
Obrázok 76: Vizuálne porovnanie výsledku postupu č. 1 s riečnou sieťou

Výsledok prvého postupu využívajúceho funkciu *Extract By Attributes* zobrazený spolu s vrstvou jemných úsekov vodných tokov z DIBAVOD je možné vidieť na obrázku 76. Jedná sa konkrétne o najlepší z dosiahnutých výsledkov postupu, ktorý bol vytvorený nad sadou dát vygenerovanou v 100 opakovaniach s náhodnou chybou ± 2 m. Už z vizuálneho porovnania je možné vidieť, že priebeh výslednej línie stoku vody sa výrazne približuje k priebehu vodných tokov v danej oblasti. V hornatých oblastiach je možné sledovať, že výsledok postupu nie je príliš odlišný od riečnej siete aj napriek tomu, že bol vytvorený z dát, ktoré berú do úvahy neurčitost'. V rovinatých oblastiach sa dá očakávať nižšia kvalita výsledku. V prípade tohto postupu však výsledok celkom zodpovedá riečnej sieti aj v prípade rovinatých oblastí.



Obrázok 77: Vizualné porovnanie výsledku postupu č. 2 s riečnou sieťou

Vizuálne porovnanie výsledku druhého postupu s riečnou sieťou z DIBAVOD je zobrazené na obrázku 77. Pre porovnanie boli použité dáta vygenerované v 30 opakovaníach s chybou ± 2 m. Na základe porovnania je možné tvrdiť, že výsledok postupu poskytuje relatívne kvalitné výsledky v hornatých oblastiach, pretože priebeh výslednej línie stoku sa približuje k priebehu vodných tokov v hornatých oblastiach. To sa nedá tvrdiť o rovinatých oblastiach, kde výsledok takmer nezodpovedá riečnej sieti. Postup teda neposkytuje kvalitné výsledky v rovinatých oblastiach. Toto tvrdenie už bolo vyslovené a taktiež vysvetlené počas testovania postupu (kapitola 4.4).

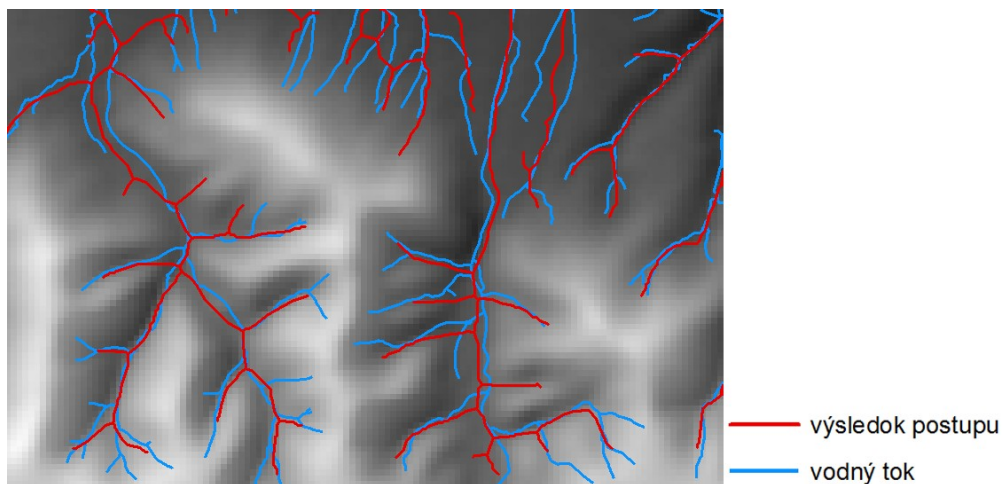


Obrázok 78: Vizualné porovnanie výsledku postupu č. 3 s riečnou sieťou

Počas testovania tretieho postupu využívajúceho funkciu *Buffer* bolo dokázané, že tento postup môžeme považovať za alternatívu k predchádzajúcemu postupu využívajúcu odlišné vstupné dáta. Tento fakt je možné pozorovať aj pri porovnaní výsledku s riečnou sieťou. Výsledok sa takmer nelíši od predchádzajúceho a k priebehu vodných tokov sa približuje iba v hornatých oblastiach. V rovinatých oblastiach výsledné línie stoku vody pokrývajú takmer celú oblasť a nie je možné tvrdiť, že by sa svojím priebehom podobali na

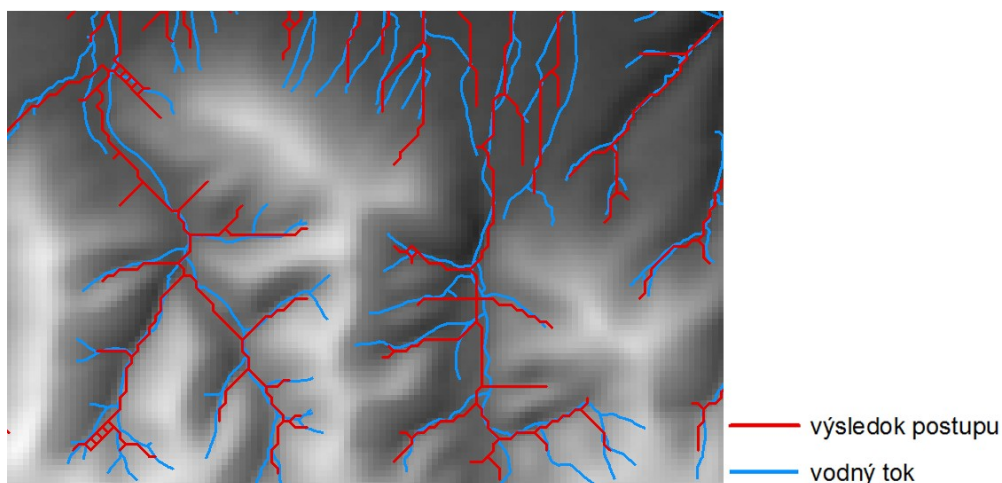
priebeh vodných tokov. Pre porovnanie boli opäť použité dáta vygenerované v 30 opakovaníach s chybou ± 2 m.

Podobne ako tretí postup aj postup č. 4 využívajúci funkciu *Kernel Density* predstavuje alternatívu k inému postupu. Tým je konkrétne prvý postup, ktorý využíva *Extract By Attributes*. S riečnou sieťou bol v tomto prípade porovnávaný výsledok postupu vygenerovaný v 100 opakovaníach s náhodnou chybou veľkosti ± 2 m. Na základe tohto tvrdenia je možné očakávať, že aj výsledky tohto postupu sa budú svojím priebehom približovať k vodným tokom a to aj v rovinatých oblastiach.



Obrázok 79: Vizuálne porovnanie výsledku postupu č. 4 s riečnou sieťou

To, či sa výsledná línia stoku vody približuje k priebehu vodných tokov, je možné vidieť na obrázku 79. Výsledok postupu je možné považovať za kvalitný, pretože sa blíži k vodným tokom aj v rovinatých oblastiach. Výsledok je dokonca lepší ako výsledok postupu č. 1, pretože neobsahuje žiadne nespojitosti, ktoré by bolo potrebné odstrániť. Výsledné línie sa príliš od vodných tokov neodlišujú a v rámci extrakcie výsledkov z rozptýlených línií stoku vody ide pravdepodobne o najkvalitnejší výstup.



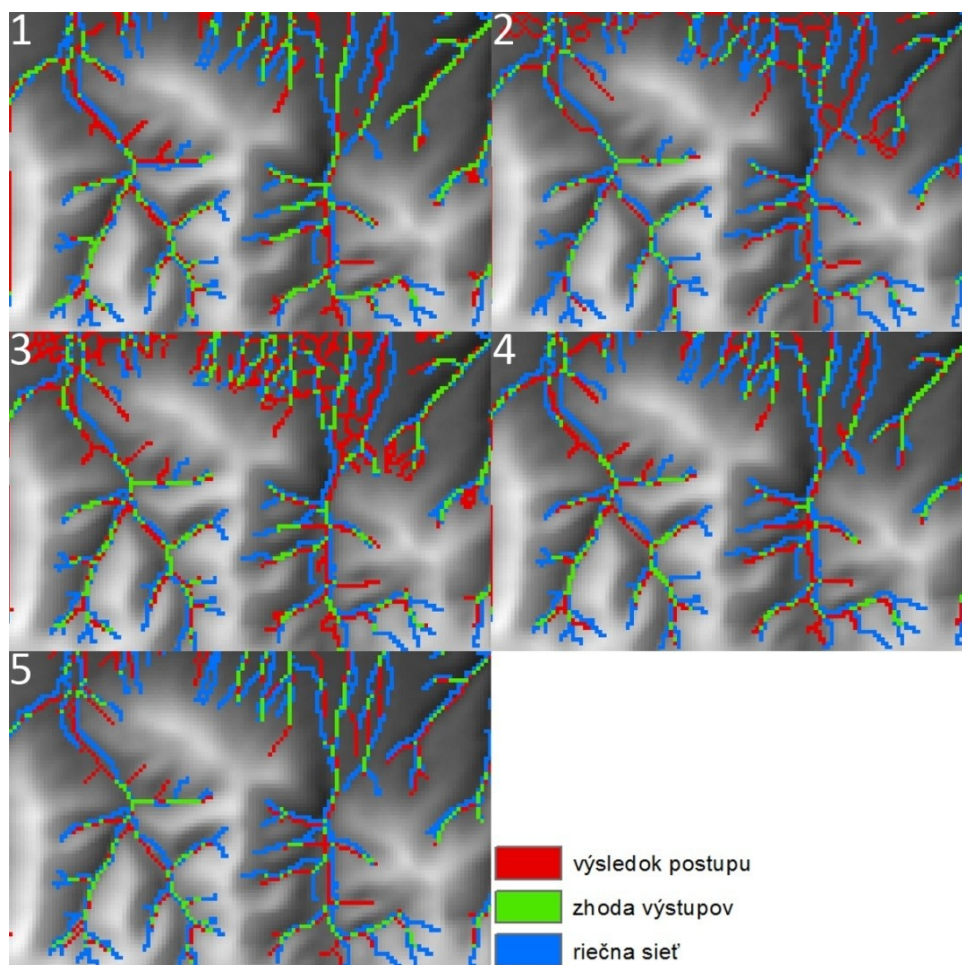
Obrázok 80: Vizuálne porovnanie výsledku postupu č. 5 s riečnou sieťou

Posledným zhodnoteným výsledkom je výsledok postupu č. 5. Tento postup bol po testovaní označený ako najlepší, pretože kvalita priebehu výsledných línií nie je závislá na vstupných dátach ako pri prechádzajúcich postupoch a výsledok negeneruje z rozptýlených línií stoku vody. Na základe vizuálneho porovnania výsledku s priebehom vodných tokov nie je jednoduché posúdiť, či je možné považovať postup za najlepší. Výsledky sú veľmi podobné s výsledkami postupov 1 a 4. Výsledky týchto postupov sa môžu dokonca približovať k priebehu vodných tokov v rovinatých oblastiach viac ako posledný postup. Je však treba brať do úvahy fakt, že výsledky postupov 1 a 4, ktoré boli porovnávané s riečnou sieťou, boli vytvorené z ideálnych vstupných dát pre dané postupy. Takéto dáta však nemusia byť vždy k dispozícii. V takomto prípade sa prejaví už spomínaná výrazná výhoda postupu č. 5, ktorému nezáleží na tom, v koľkých opakovaniach alebo s akou chybou boli vstupné dáta vygenerované. Na základe týchto tvrdení je teda v konečnom dôsledku možné tento postup na základe vizuálneho porovnania považovať za najkvalitnejší navrhnutý postup práve pre jeho širokú použiteľnosť a nezávislosť.

Okrem vizuálneho zhodnotenia kvality výsledkov jednotlivých postupov porovnaním s riečnou sieťou je však možné kvalitu posúdiť aj ďalšími spôsobmi. Jedným z týchto spôsobov je zhodnotenie zhody priebehu výslednej línie stoku vody s priebehom vodných tokov. To je možné vykonať jednoduchým odčítaním spomínaných vrstiev od seba. Pred odčítaním je potrebné konvertovať riečnu sieť do rastrovej podoby s veľkosťou bunky odpovedajúcou výsledku niektorého z postupov. Potom nasleduje reklasifikácia výslednej riečnej siete na takú hodnotu, aby mohlo byť po odčítaní výsledku postupu určené, kde sa vyskytuje len riečna sieť, kde len výsledok a kde sa vyskytujú obe vrstvy.

Jednou z možností je reklasifikovať bunky riečnej siete na hodnotu 2 a bunky výsledku postupu na hodnotu 1. Po odčítaní výsledku od riečnej siete budú teda bunky s hodnotou 1 predstavovať miesta, kde sa výsledok zhoduje s riečnou sieťou. Bunky s hodnotou 2 budú predstavovať miesta, kde sa vyskytuje len riečna sieť a bunky s hodnotou -1 budú predstavovať miesta, kde sa vyskytuje len výsledok postupu.

Na obrázku 81 sú zobrazené výsledky odčítania výsledkov postupov od vrstvy riečnych sietí. K odčítaniu boli použité rovnaké výsledky postupov ako v prípade vizuálneho porovnania. Týmto spôsobom je možné určiť, v ktorých miestach sa výsledná línia stoku vody zhoduje s vodným tokom. Najvýraznejšia zhoda s vodnými tokmi bola dosiahnutá s výsledkom prvého postupu. S riečnou sieťou sa zhoduje až 508 buniek (tabuľka 4). Druhý najväčší počet buniek zhodujúcich sa s riečnou sieťou bol dosiahnutý s výsledkom tretieho postupu. To však nie je spôsobené kvalitou výsledku, ale tým, že postup vytvoril v rovinatej oblasti veľký počet línií. Tieto línie sa nepribližujú svojím priebehom k vodným tokom, ale tým, že ich je veľký počet, dochádza k viacerým zhodám s priebehom vodných tokov. Toto tvrdenie potvrdzuje aj číslo 890, ktoré vyjadruje počet buniek predstavujúcich lokalizáciu iba výsledku postupu. Toto číslo je výrazne vyššie ako v prípade ostatných postupov.



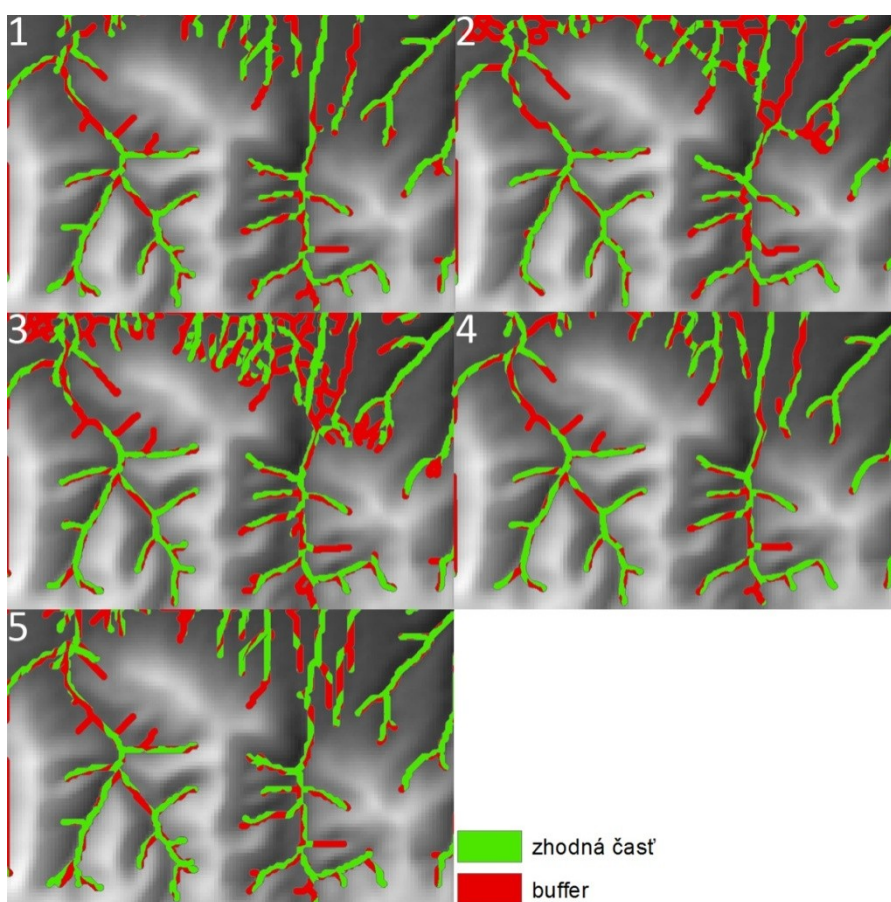
Obrázok 81: Rozdiel medzi riečnou sieťou a výsledkami postupov

Tabuľka 4: Počet buniek v kategóriách výsledku odčítania

	výsledok postupu	zhoda výstupov	riečna sieť
postup 1	503	508	857
postup 2	537	293	1086
postup 3	890	459	865
postup 4	543	368	995
postup 5	473	333	1046

V niektorých prípadoch však môže výsledná línia prebiehať hneď vedľa línie predstavujúcej vodný tok. V takomto prípade bude týmto postupom vyhodnotená výsledná línia ako nezhodujúca sa s riečnou sieťou. To však nie je možné pokladať za nekvalitný výsledok, pretože postupom vytvorený výsledok, ktorý berie do úvahy neurčitosť, sa výrazne blíži k priebehu vodného toku. Pri hodnotení výsledkov týmto postupom sa teda nestačí spoliehať na počty buniek v jednotlivých kategóriách, ale je potrebné zapojiť aj vizuálne porovnanie výsledkov.

Tento problém je možné vyriešiť tým, že sa pri porovnávaní výsledku s riečnou sieťou zavedie určitá tolerancia. To je jednoducho možné vykonať spôsobom, ktorý spočíva vo vytvorení bufferu okolo línie stoku vody ako aj okolo riečnej siete do požadovanej vzdialenosti predstavujúcej toleranciu. K tomu je potrebné konvertovať výsledky postupov do vektorovej podoby. Výsledok vo vektorovej podobe spolu s riečnou sieťou vstupuje ako vstupná vrstva do funkcie *Intersect*. Táto funkcia slúži pre výpočet geometrických priesečníkov vstupných vrstiev. Výstupom funkcie sú len tie časti vstupných vrstiev, ktoré sa prekrývajú. Použitím funkcie *Intersect* získame výstup, ktorý obsahuje len tie časti bufferu vytvoreného okolo vstupných vrstiev, ktoré sa prekrývajú. Tým získame oblasti, v ktorých sa výsledok postupu zhoduje s riečnou sieťou s danou toleranciou. Z výsledku je následne možné vypočítať percentuálne zastúpenie zhodujúcich sa úsekov z celkovej plochy vytvorenej okolo výsledku postupu.



Obrázok 82: Výsledok porovnania s toleranciou 50 m vo forme bufferu

Výsledky funkcie *Intersect* pre jednotlivé výsledky postupov je možné vidieť na obrázku 82. Výsledky boli dosiahnuté pri tolerancii 50 m (vzdialenosť, do ktorej bol vytvorený buffer). Už na základe vizuálneho posúdenia výstupov je možné tvrdiť, že v hornatých oblastiach je zhoda s riečnou sieťou s toleranciou 50 m relatívne vysoká pri každom z navrhnutých postupov. V prípade rovinných oblastí sú na tom najlepšie postupy číslo 1, 4 a 5. Celkovú najväčšiu zhodu s riečnou sieťou s toleranciou 50 m poskytuje

štvrtý postup so zhodou 59,88 %. Druhú najväčšiu zhodu dosiahol prvý postup. Ďalšie výsledky sú zobrazené v tabuľke 5.

Tabuľka 5: Percentuálna zhoda výsledkov s riečnou sieťou (tolerancia 50 m)

	postup 1	postup 2	postup 3	postup 4	postup 5
zhoda [%]	59.02	51.02	48.28	59.88	57.84

Najkvalitnejšie výsledky, čo sa týka zhody s riečnou sieťou, poskytuje na základe získaných údajov postup č 4. Netreba však zabúdať na to, že takáto úroveň zhody bola dosiahnutá s využitím dát vygenerovaných z optimálnych vstupných dát. Postup č. 5, ktorý poskytuje výsledné línie, ktorých kvalita priebehu nie je závislá na vstupných dátach, poskytuje výsledky, ktoré majú zhodu s riečnou sieťou len o 2 % nižšiu.

Na základe informácií získaných vizuálnym porovnaním, odčítaním výsledkov od riečnej siete a porovnaním s určitou toleranciou je teda možné stanoviť finálny verdikt týkajúci sa kvality výstupov jednotlivých postupov. Na základe vizuálneho porovnania výstupov postupov s riečnou sieťou boli označené ako najkvalitnejšie výstupy postupov číslo 1, 4 a 5. Odčítaním výsledkov od riečnej siete bez tolerancie bola dosiahnutá najväčšia zhoda v prípade výsledku prvého postupu. Po ňom nasledoval štvrtý a piaty postup s takmer rovnakou zhodou. Porovnaním výsledkov s riečnou sieťou s toleranciou 50 m bol dosiahnutý najlepší výsledok vytvorený pomocou štvrtého postupu. Prvý a piaty postup však dosiahli takmer rovnakú zhodu s riečnou sieťou ako postup štvrtý. Je teda náročné zvoliť jeden postup, ktorý by mohol byť považovaný za najlepší. Aj napriek tomu, že výsledkami zhodnotenia boli za najlepšie postupy označené prvý a štvrtý, je možné za najlepší považovať práve postup piaty. Tento postup poskytuje takmer identické výsledky ako spomínané postupy a má oproti nim navyše výraznú výhodu v podobe nezávislosti na vstupných dátach. Je však treba brať do úvahy fakt, že pri zvyšovaní náhodnej chyby a jej aplikovaní na DMR sa s najväčšou pravdepodobnosťou bude celková zhoda s riečnou sieťou v prípade každého postupu znižovať. Výsledky postupov dosiahnuté pri použití optimálnych dát sú zobrazené na mapách 6 až 10.

ZÁVER

Jednou z najdôležitejších súčastí akéhokoľvek geografického informačného systému sú dáta. Dáta môžu predstavovať vstupy pre rôzne analýzy. Pri vzniku alebo zbere dát však môže dochádzať k určitým chybám alebo nepresnostiam, ktoré môžu byť spôsobené napríklad nepresnosťou merania alebo chybou meracieho prístroja. Ak sa tieto chyby neberú do úvahy, prenášajú sa každým krokom analýzy až po výsledok, ktorý je následne vplyvom týchto chýb nepresný. Tieto nepresnosti je potrebné vo výsledku zhodnotiť alebo ich zohľadniť už na úrovni analýzy a získať výsledky, ktoré tieto neurčitosti berú do úvahy. Diplomová práca sa zaoberala práve touto problematikou, konkrétne v prípade analýzy stoku vody.

Hlavným cieľom diplomovej práce bolo teda navrhnúť jeden alebo viac postupov umožňujúcich extrakciu línie stoku vody z rozptýlených dát, ktoré vznikli aplikáciou metódy Monte Carlo na proces analýzy stoku vody po povrchu.

Pred samotným návrhom postupov bolo potrebné naštudovať problematiku analýzy stoku vody a neurčitosti v dátach a následne vygenerovať rozptýlené dáta. Týmto témami sa už zaoberalo niekoľko autorov a je možné dohľadať príslušné zdroje a literatúru odpovedajúcu požadovaným témam. Na základe analýzy danej problematiky bolo následne možné začať s návrhom samotných postupov. Touto oblasťou, konkrétne extrakciou línie stoku vody z rozptýlených dát, sa už literatúra nezaobrá. Z toho dôvodu sú navrhnuté postupy vytvorené od základov a nie sú odvodené zo žiadnych existujúcich zdrojov. K tomu aby mohli byť postupy navrhnuté bolo však potrebné vygenerovať dáta, z ktorých mala samotná extrakcia prebiehať. K tomuto účelu bol vytvorený jednoduchý skript, ktorý umožňuje generovať rozptýlené dáta na základe užívateľom stanovených podmienok. Počas analýzy stoku vody sa generuje niekoľko výstupov, do ktorých sa neurčitosť postupne prenáša. Pre prípadné použitie ako vstupnú vrstvu pre navrhovaný postup bol každý z výstupov skriptu analyzovaný. Navrhnutých bolo päť postupov využívajúcich rôzne vstupné dáta. Práca obsahuje detailný popis jednotlivých postupov, ich krokov a taktiež použitých funkcií. Navrhnuté postupy boli následne otestované pre overenie ich funkcionality. Testovanie prebiehalo nad niekoľkými rôznymi sadami dát. Na základe testovania bolo možné stanoviť optimálne podmienky, pri ktorých jednotlivé postupy poskytujú najlepšie výsledky.

V závere práce boli najlepšie získané výsledky pre každý navrhnutý postup posúdené z hľadiska ich kvality. Pre posúdenie kvality bolo použitých niekoľko metód. Z informácií získaných z posúdenia bolo následne možné označiť postupy, ktoré poskytujú najkvalitnejšie výsledky spomedzi všetkých navrhnutých postupov.

Na základe dosiahnutých výsledkov je možné tvrdiť, že všetky stanovené ciele práce boli dosiahnuté a že problematika ako aj práca samotná boli spracované dôkladne. Bolo vytvorených niekoľko postupov, ktorými je možné dosiahnuť to, čo bolo stanovené v hlavom cieli práce. Prínos práce spočíva práve vo vytvorení niekoľkých postupov, ktoré umožňujú získať použiteľné výsledky z rozptýlených dát. Tieto postupy je možné, okrem

posledného navrhnutého postupu, využiť nie len pre získavanie výslednej línie stoku vody. Postupy je možné využiť pre ľubovoľné líniové rozptýlené dáta či už v rastrovej alebo vo vektorovej podobe, keďže pracujú s ich priestorovým rozložením, počtom výskytov alebo ich hustotou v určitej oblasti. Tento fakt rozširuje využiteľnosť navrhnutých postupov do všeobecnej roviny, pretože spomenuté údaje, s ktorými pracujú jednotlivé postupy je možné získať z ľubovoľných líniových dát. Jedným z príkladov využitia postupov mimo analýzy stoku vody môže byť extrakcia výslednej GPS trasy z niekoľkých nameraných trás, ktoré sa líšia vďaka určitej chybe GPS prístroja.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] BELL, Stephanie. A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement. In: *Measurement Good Practice Guide No. 11* [online]. 2. vyd. Teddington, Middlesex, United Kingdom: National Physical Laboratory, 1999 [cit. 2013-04-21]. ISSN 1368-6550. Dostupné z: http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/UK_NPL/mgpg11.pdf
- [2] CARPI, Anthony a Anne E. EGGER. Data: Uncertainty, Error, and Confidence. [online]. Dostupné z: http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=157
- [3] DOBROVOLNÝ, Petr. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita, 1998, 208 s. ISBN 80-210-1812-7.
- [4] DORDA, Michal. *Úvod do metody Monte Carlo*. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~dor028/Aplikace_5.pdf
- [5] GENTLE, James E. *Random number generation and Monte Carlo methods: Statistics and Computing*. 2nd ed. New York: Springer, 2003, xv, 381 p. ISBN 03-870-0178-6.
- [6] GOODCHILD, Michael F. *Imprecision and spatial uncertainty*. Dostupné z: <http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/445.pdf>
- [7] HAMMERSLEY, J.M. a D.C. HANDSCOMB. *Monte Carlo methods*. Norwich, Great Britain: Fletcher % Son Ltd, 1964. ISBN 0 416 52340 4.
- [8] HENGL, T., G. B. M. HEUVELINK a E. E. VAN LOON. *On the uncertainty of stream networks derived from elevation data: the error propagation approach*. Copernicus Publications, 2010. Dostupné z: <http://dare.uva.nl/document/194127>
- [9] HORÁK, Jiří. *Zpracování dat v GIS*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - TUO, 2011.
- [10] JEDINÁK, Dušan. OSOBNOST VEDY: Werner Heisenberg. [online]. Dostupné z: <http://www.equark.sk/index.php?cl=scientist&iid=28>
- [11] LANGR, Jan. Využití datové báze DMÚ 25 pro kartografické účely. In: *GIS Ostrava 2001 sborník*. Ostrava: VŠB - TUO, 2001. ISSN 1213-239X. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2001/Sbornik/Referaty/langr.htm
- [12] MAGUIRE, David J., Michael BATTY a Michael F. GOODCHILD. *GIS, spatial analysis, and modeling*. ESRI Press, 2005. ISBN 978-1589481305.
- [13] OLSHAUSEN, Bruno A. *Bayesian probability theory*. 2004. Dostupné z: <http://redwood.berkeley.edu/bruno/npb163/bayes.pdf>
- [14] ŘEZNÍK., Tomáš. *Vojenské databáze*. 2008. Dostupné z: http://www.geogrmelec.org/materialy/iframes/MapZ/MapZ_droje_05.pdf
- [15] SHEKHAR, Shashi a Hui XIONG. *Encyclopedia of GIS*. New York: Springer, 2008. ISBN 978-0-387-35973-1.
- [16] SLABEJOVÁ, Danica. *Metóda Monte Carlo*. Brno, 2007. Bakalárska práca. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Gejza Wimmer, DrSc.
- [17] ZHANG, Jingxiong a Michael F. GOODCHILD. *Uncertainty in Geographical Information*. Taylor & Francis e-Library, 2003. ISBN 0-203-77956-8.
- [18] Buffer (Analysis). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//000800000019000000>

- [19] Buffon's Needle Problem. [online]. Dostupné z: <http://mathworld.wolfram.com/BufconsNeedleProblem.html>
- [20] Cell Statistics (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z0000007q000000.htm>
- [21] Collapse Dual Lines To Centerline (Cartography). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/007000000000t000000>
- [22] Extend Line (Editing). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Extend_Line/001v00000004000000/
- [23] Extract by Attributes (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000029000000.htm>
- [24] Fill (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Fill/009z00000005000000/>
- [25] *Floreon+* [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006-2012. Dostupné z: <http://floreon.vsb.cz/base/>
- [26] Flow Accumulation (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000051000000.htm>
- [27] GRASS GIS: About [online]. GRASS: Introduction. Dostupné z: <http://grass.fbk.eu/intro/general.php>
- [28] How Fill works. [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Fill_works/009z000000061000000/
- [29] How Flow Accumulation works. [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000062000000.htm>
- [30] How Flow Direction works. [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Flow_Direction_works/009z000000063000000/
- [31] How Kernel Density works. [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000011000000.htm>
- [32] How Sink works. [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Sink_works/009z000000065000000/
- [33] How To: Remove and replace no data values within a raster using statistical information from the surrounding data values. [online]. 2011. Dostupné z: <http://support.esri.com/es/knowledgebase/techarticles/detail/21261>
- [34] How Topo to Raster works. [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Topo_to_Raster_works/009z00000007m000000/

- [35] Katalogový list DIBAVOD. [online]. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, 2011. Dostupné z: http://www.dibavod.cz/index.php?id=27&id_dib=2
- [36] Kernel Density (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z0000000s000000.htm>
- [37] Merge Divided Roads (Cartography). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00700000000w000000>
- [38] O projektu DIBAVOD. [online]. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, 2011. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/>
- [39] PyScripter Overview. [online]. 2011, 5.11.2011. Dostupné z: <https://code.google.com/p/pyscripter/wiki/PyScripter>
- [40] R.thin. [online]. GRASS Development Team, 2003-2013. Dostupné z: <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.thin.html>
- [41] Reclassify (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z0000000sr000000.htm>
- [42] Set Null (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000007000000.htm>
- [43] Schéma Monte Carlo. In: [online]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Schema-MC.JPG>
- [44] Sink (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z000000054000000.htm>
- [45] Thin (Spatial Analyst). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000003n000000.htm>
- [46] Thin Road Network (Cartography). [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//0070000000014000000>
- [47] Understanding drainage systems. [online]. ESRI, 2011. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000005m000000.htm>

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Ukážka vrstevníc z DMÚ 25	13
Obrázok 2: Ukážka DMR z prokejtu Floreon+	14
Obrázok 3: Vysvetlenie pojmov presnosť a precíznosť [2]	17
Obrázok 4: Príklad funkcie príslušnosti [3].....	22
Obrázok 5: Ukážka Buffonovej úlohy [19].....	23
Obrázok 6: Schéma metódy Monte Carlo [42].....	24
Obrázok 7: Postup generovania odvodňovacej siete.....	27
Obrázok 8: Profil terénu obsahujúceho „sink“ [31]	27
Obrázok 9: Lokalizované lokálne depresie v DMR	28
Obrázok 10: Profil terénu obsahujúceho sink a jeho následné vyplnenie [27]	28
Obrázok 11: Hodnoty predstavujúce jednotlivé smery stoku vody [29]	29
Obrázok 12: Raster s hodnotami smeru stoku vody po teréne	29
Obrázok 13: Princíp funkcie Flow Direction [29].....	30
Obrázok 14: Princíp funkcie Flow Accumulation [28]	30
Obrázok 15: Raster akumulovaného odtoku vody.....	31
Obrázok 16: Odvodňovacia sieť vytvorená pomocou SetNull	32
Obrázok 17: Okno nástroja pre generovanie rozptýlených dát	34
Obrázok 18: Ukážka rozptýlených dát akumulácie odtoku a odvodňovacej siete nad DMR z Floreon+	34
Obrázok 19: Skript slúžiaci na generovanie rozptýlených dát	35
Obrázok 20: Rozptýlené dáta akumulovaného odtoku	37
Obrázok 21: Rozptýlené dáta odvodňovacej siete v rastrovej podobe	37
Obrázok 22: Rozptýlené dáta odvodňovacej siete vo vektorovej podobe	38
Obrázok 23: Ukážka výstupov pre chybu 2 (ľavá strana) a 10 m (pravá strana) pri 30 opakovaní.....	38
Obrázok 24: Porovnanie odvodňovacej siete vygenerovanej pri 30 a 100 opakovaní	39

Obrázok 25: Ukážka výstupov pre chybu 2 (ľavá strana) a 10 (pravá strana) m pri 100 opakovaníach	40
Obrázok 26: Pravdepodobnosť výskytu stoku vody v záujmovej oblasti pre DMR z DMÚ 25.....	41
Obrázok 27: Pravdepodobnosť výskytu stoku vody v záujmovej oblasti pre DMR z Floreon+.....	41
Obrázok 28: Princíp funkcie Extract By Attributes [23].....	45
Obrázok 29: Príklad bufferu vytvoreného okolo bodov, líni a polygónov [18]	45
Obrázok 30: Rozdiel vo výstupoch funkcie Thin v GRASS GIS (ľavý obrázok) a ArcGIS (pravý obrázok)	46
Obrázok 31: Výsledok testu funkcie Collapse Dual Lines To Centerline	48
Obrázok 32: Výsledok funkcie Extract By Attributes pre podmienku VALUE" >= 11	52
Obrázok 33: Výsledky funkcie Thin s rozdielnymi vstupnými parametrami pre postup č. 1	53
Obrázok 34: Grafické znázornenie krokov postupu č. 1	53
Obrázok 35: Výsledky funkcie Thin s rozdielnymi vstupnými parametrami pre postup č. 2	54
Obrázok 36: Grafické znázornenie krokov postupu č. 2	54
Obrázok 37: Výsledok funkcie Buffer do vzdialenosti 15 m (ľavá časť) a 60 m (pravá časť).....	55
Obrázok 38: Výsledky funkcie Thin pre postup č. 3 získané z dát zobrazených na obrázku 37.....	56
Obrázok 39: Chyba vznikajúca pri nesprávne definovanej vzdialenosti pre buffer	57
Obrázok 40: Grafické znázornenie krokov postupu č. 3	57
Obrázok 41: Porovnanie výsledkov Kernel Density pre rozdielne vstupné vrstvy.....	58
Obrázok 42: Výstup Kernel Density pre polomer vyhľadávania 139 m (horná časť) a 40 m (spodná časť).....	59
Obrázok 43: Reklasifikované výsledky funkcie Kernel Density z obrázku 42	60
Obrázok 44: Výsledok funkcie Thin pre reklasifikované výsledky z obrázku 43	61
Obrázok 45: Grafické znázornenie krokov postupu č. 4	61
Obrázok 46: Výsledok Cell Statistics s parametrom MAJORITY	63
Obrázok 47: Výsledný akumulovaný odtok pre postup č. 5.....	64
Obrázok 48: Výsledok postupu č. 5.....	65
Obrázok 49: Grafické znázornenie krokov postupu č. 5	65

Obrázok 50: Rozdiel vo vstupných dátach vygenerovaných s rôznymi parametrami nad DMR z DMÚ 25.....	66
Obrázok 51: Extrahované bunky s rôznou prahovou hodnotou	67
Obrázok 52: Extrahované hodnoty pre jednotlivé vstupné dáta zobrazené na obrázku 50.....	68
Obrázok 53: Rozdielny výsledkoch funkcie Thin pri použití odlišných hodnôt pre maximálnu hrúbku línie	68
Obrázok 54: Výsledky testovania postupu č. 1 nad DMR z DMÚ 25.....	69
Obrázok 55: Rozdiel vo vstupných dátach vygenerovaných s rôznymi parametrami nad DMR z Floreon+.....	70
Obrázok 56: Extrahované hodnoty pre jednotlivé vstupné vrstvy zobrazené na obrázku 55	70
Obrázok 57: Výsledky testovania postupu č. 1 nad DMR z projektu Floreon+	71
Obrázok 58: Výsledky testovania postupu č. 2 nad DMR z DMÚ 25.....	71
Obrázok 59: Výsledky testovania postupu č. 2 nad DMR z projektu Floreon+	72
Obrázok 60: Rozdiel vo vstupných dátach vygenerovaných s rôznymi parametrami nad DMR z DMÚ 25.....	73
Obrázok 61: Odstránenie problému odľahlých línií	73
Obrázok 62: Výsledky funkcie Buffer pre vstupné dáta zobrazené na obrázku 60.....	74
Obrázok 63: Výsledky testovania postupu č. 3 nad DMR z DMÚ 25.....	75
Obrázok 64: Rozdiel vo vstupných dátach vygenerovaných s rôznymi parametrami nad DMR z Floreon+.....	75
Obrázok 65: Výsledky funkcie Buffer pre vstupné dáta zobrazené na obrázku 64.....	76
Obrázok 66: Výsledky testovania postupu č. 3 nad DMR z projektu Floreon+.....	76
Obrázok 67: Výsledky funkcie Kernel Density pre dáta zobrazené na obrázku 60	77
Obrázok 68: Výsledky reklasifikácie dát z obrázku 67.....	78
Obrázok 69: Výsledky testovania postupu č. 4 nad DMR z DMÚ 25.....	79
Obrázok 70: Výsledky funkcie Kernel Density pre dáta zobrazené na obrázku 64.....	79
Obrázok 71: Výsledky reklasifikácie dát z obrázku 70.....	80
Obrázok 72: Výsledky testovania postupu č. 4 nad DMR z projektu Floreon+.....	80
Obrázok 73: Výsledky testovania postupu č. 5 nad DMR z DMÚ 25.....	81

Obrázok 74: Výsledok funkcie Extend Line.....	84
Obrázok 75: Línie, ktoré nie je možné spojiť funkciou Extend Line.....	84
Obrázok 76: Vizuálne porovnanie výsledku postupu č. 1 s riečnou sieťou.....	85
Obrázok 77: Vizuálne porovnanie výsledku postupu č. 2 s riečnou sieťou.....	86
Obrázok 78: Vizuálne porovnanie výsledku postupu č. 3 s riečnou sieťou.....	86
Obrázok 79: Vizuálne porovnanie výsledku postupu č. 4 s riečnou sieťou.....	87
Obrázok 80: Vizuálne porovnanie výsledku postupu č. 5 s riečnou sieťou.....	87
Obrázok 81: Rozdiel medzi riečnou sieťou a výsledkami postupov.....	89
Obrázok 82: Výsledok porovnania s toleranciou 50 m vo forme bufferu.....	90

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Základné údaje o použitých DMR.....	14
Tabuľka 2: Testované funkcie a ich použiteľnosť.....	50
Tabuľka 3: Optimálne podmienky pre navrhnuté postupy.....	83
Tabuľka 4: Počet buniek v kategóriách výsledku odčítania	89
Tabuľka 5: Percentuálna zhoda výsledkov s riečnou sieťou (tolerancia 50 m).....	91

ZOZNAM PRÍLOH

Mapa 1: Lokalizácia záujmových oblastí v Moravskoslezskom kraji.....	103
Mapa 2: Lokalizácia vodných tokov v záujmových oblastiach v Moravskoslezskom kraji.....	104
Mapa 3: Sklonitosť terénu v záujmových oblastiach v Moravskoslezskom kraji	105
Mapa 4: Záujmová oblasť pre testovanie nad DMR z DMÚ 25.....	106
Mapa 5: Záujmová oblasť pre testovanie nad DMR z projektu Floreon+	107
Mapa 6: Výsledné línie stoku vody v záujmových oblastiach, postup č. 1	108
Mapa 7: Výsledné línie stoku vody v záujmových oblastiach, postup č. 2	109
Mapa 8: Výsledné línie stoku vody v záujmových oblastiach, postup č. 3	110
Mapa 9: Výsledné línie stoku vody v záujmových oblastiach, postup č. 4	111
Mapa 10: Výsledné línie stoku vody v záujmových oblastiach, postup č. 5.....	112